

3100096008075

TUGAS AKHIR
OE 1701

**PEMODELAN ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**



R. Ske
620.106 4
kor
p-1
1996

Disusun Oleh :

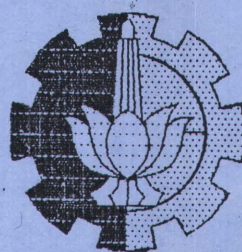
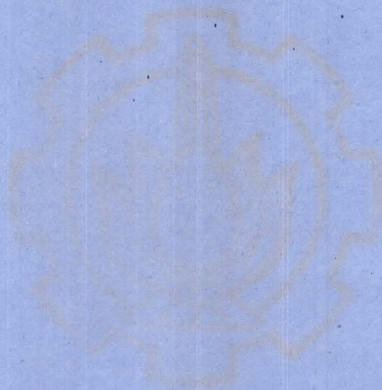
HERMAS KORNELIUS
NRP. 4914300222

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	02-04-96
Terima Dari	H
No. Agenda Frp.	6178

**PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1996**

INDRA AGHA
04 1101

PEMIDELAN ALIRAN FLUIDA DALAM PPA
DENGAN METODE ELEMEN FINICA



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Jl. Raya ITS Suroboyo No. 601-606
Surabaya 60132

LEMBAR

PENGESAHAN

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

1995

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Pemodelan Aliran Fluida dalam Pipa dengan
Metode Elemen Hingga.

Penulis : Hermas Kornelius

NRP : 4914300222

Surabaya, 18 Maret 1996

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. W. A. Pratikto, MSc. PhD
NIP. 130 816 210



Drs. M. Mustain, MSc
NIP. 131 869 967

LIBRARY PENGONTOHAN

Jurnal Teknik Sipil

Perencanaan Jalan Raya dan Jembatan

Volume 1 Nomor 1

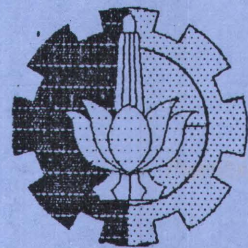
2000

Volume 1 Nomor 1

1999-2000

Volume 1 Nomor 1

1999-2000



ABSTRAK

Jurnal Teknik Sipil
1999-2000

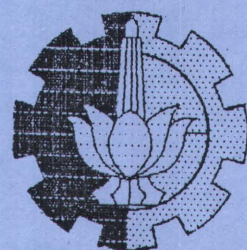
Jurnal Teknik Sipil
1999-2000

ABSTRAK

Metode elemen hingga yang mula-mula dikembangkan untuk analisa struktur sekarang mempunyai aplikasi yang luas, termasuk dalam bidang mekanika fluida. Ada tiga pendekatan yang dapat dipakai untuk pemodelan, yaitu : metode langsung, metode variasi dan metode residu berbobot. Dari ketiga pendekatan tersebut, yang sesuai untuk studi mekanika fluida adalah metode residu berbobot.

Tugas akhir ini membahas pemodelan aliran fluida dalam pipa dengan metode residu berbobot Galerkin. Metode ini sering digunakan karena lebih sederhana. Sedangkan beberapa kasus aliran yang dibahas adalah : aliran dalam pipa lurus, aliran dalam pipa ekspansi berangsur dan dalam pipa belok.

Hasil pemodelan metode Galerkin ini kemudian dibandingkan dengan penyelesaian analitis, sehingga diperoleh ketelitian untuk masing-masing kasus sebagai berikut : aliran dalam pipa lurus 99,41%, aliran dalam pipa ekspansi berangsur 68,03% dan aliran dalam pipa belok antara 69,88% sampai 73,49%.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyandang gelar Sarjana Teknik di lingkungan Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada orang tua penulis atas doa dan dukungan material mereka selama studi. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan pula rasa terima kasih yang mendalam kepada :

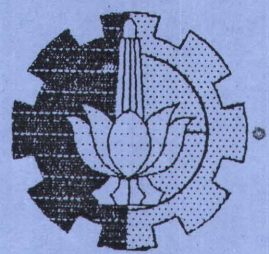
- ☐ Ir. W. A. Pratikto, MSc, PhD dan Drs. M. Mustain, MSc yang dengan sabar dan perhatian memberikan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
- ☐ Ir. E. B.Djarmiko, MSc, PhD dan Ir. Imam Rochani, MSc selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Kelautan FTK - ITS.
- ☐ Seluruh staf pengajar Program Studi Teknik Kelautan yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama mengikuti kuliah di tempat ini.

- ☐ Pegawai dan staf Fakultas Teknologi Kelautan, khususnya bagian tata usaha P.S.T. Kelautan.
- ☐ Seluruh rekan Teknik Kelautan angkatan 91, khususnya yang tergabung dalam HMST, yang telah memberikan nuansa indah selama masa kuliah.

Penulis menyadari tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, medio Maret 1996

Penulis

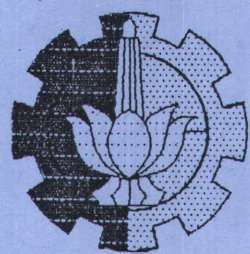


DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB 1. PENDAHULUAN.	I-1
1.1. Latar Belakang Masalah.	I-1
1.2. Perumusan Masalah.	I-5
1.3. Tujuan dan manfaat penelitian.	I-5
1.4. Batasan Masalah.	I-6
1.5. Metodologi.	I-6
BAB 2. DASAR TEORI.	II-1
2.1. Dasar-dasar Aliran Fluida.	II-1
2.1.1. Klasifikasi aliran fluida.	II-1
2.1.2. Persamaan dasar aliran fluida.	II-3
2.1.3. Aliran dalam pipa.	II-8
2.2. Metode Elemen Hingga.	II-10
2.2.1. Sejarah singkat.	II-10
2.2.2. Konsep dasar metode elemen hingga	II-11
2.2.3. Formulasi persamaan elemen.	II-16
2.2.4. Metode residu berbobot Galerkin.	II-18

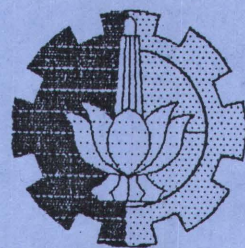
2.2.5. Elemen Isoparametrik.	II-20
BAB 3. PEMODELAN ALIRAN FLUIDA.	III-1
3.1. Diskritisasi dan pemilihan elemen.	III-1
3.2. Memilih fungsi pendekatan.	III-1
3.3. Menurunkan persamaan elemen.	III-6
3.4. Persamaan sistem dan kondisi batas.	III-9
3.5. Penyelesaian persamaan sistem.	III-10
3.5.1. Integrasi numerik.	III-10
3.5.2. Transformasi koordinat.	III-12
3.5.3. Proses iterasi.	III-13
3.6. Program komputer.	III-14
3.6.1. Program utama dan subroutine.	III-14
3.6.2. Data input.	III-19
BAB 4. ANALISA DAN DISKUSI.	IV-1
4.1. Aliran dalam pipa lurus.	IV-1
4.2. Aliran dalam pipa ekspansi berangsur.	IV-6
4.3. Aliran dalam pipa belok.	IV-11
BAB 5. PENUTUP.	V - 1
5.1. Kesimpulan.	V - 1
5.2. Saran.	V - 2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

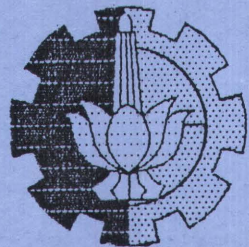
Tabel 2.1	Massa aliran fluida pada volume kendali.	II-4
Tabel 3.1	Titik sampling Gauss ($m=3$)	III-11
Tabel 3.2	Distribusi kecepatan aliran dalam pipa	III-20
Tabel 4.1	Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa lurus.	IV-5
Tabel 4.2	Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa ekspansi berangsur.	IV-11
Tabel 4.3	Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa belok	IV-16



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Massa aliran yang masuk dan keluar volume kendali pada arah x.	II-4
Gambar 2.2	Gaya-gaya pada volume kendali dalam arah x.	II-6
Gambar 2.3	Diagram benda bebas untuk elemen berbentuk silinder dalam tabung lingkaran .	II-9
Gambar 2.4	Contoh meshing 2-D dengan elemen 8 node.	II-13
Gambar 2.5	Elemen segiempat (4node) dalam koordinat natural (lokal).	II-22
Gambar 3.1	Meshing pipa lurus	III-2
Gambar 3.2	Meshing pipa ekspansi berangsur	III-3
Gambar 3.3	Meshing pipa belok	III-4
Gambar 4.1	Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan Galerkin untuk pipa lurus.	IV-18
Gambar 4.2	Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan Galerkin untuk pipa ekspansi berangsur.	IV-20
Gambar 4.3	Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan Galerkin untuk pipa belok.	IV-22
Gambar 4.4	Aliran dalam pipa lurus	IV-24
Gambar 4.5	Aliran dalam pipa ekspansi berangsur	IV-25
Gambar 4.6	Aliran dalam pipa belok	IV-26

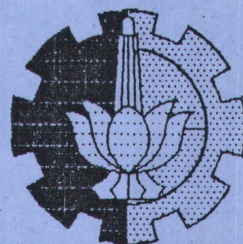


DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

$[A]$	Matriks koordinat simpul (node)
a	Percepatan.
B	Matriks kondisi batas geometri.
F	Gaya.
F	Matriks kondisi batas alami.
F_R	Angka Froude.
$F_x \text{ \& } F_y$	Body force per unit volume pada arah x dan y.
$f(x)$	Fungsi pemaksa.
g	Percepatan gravitasi.
J	Matrik Jacobian.
$[K]$	Matriks sifat rakitan.
$[k]$	Matriks sifat elemen.
k	Koefisien head loss.
l	Panjang karakteristik.
m	massa.
N	Fungsi bentuk (<i>shape function</i>).
p	Tekanan.
$\{Q\}$	Vektor gaya simbul.
$\{q\}$	Vektor besaran yang dicari.
$\{R\}$	Vektor rakitan parameter pemaksa simpul (node).
R_E	Angka Reynolds
$R(x,u)$	Persamaan residu.
$\{r\}$	Vektor rakitan dari simpul.
r_o	Jari-jari pipa.
r	Jarak dari pusat pipa.

U	Energi regangan internal.
u_o	Kecepatan acuan.
$\hat{u}(x)$	Fungsi coba-coba (<i>trial function</i>).
u, v, w	Komponen kecepatan pada arah x, y dan z .
V	Vektor kecepatan.
W	Fungsi bobot (<i>weighting function</i>).
W_p	Beban eksternal.
Π_p	Energi potensial.
Ω	Domain.
ζ	Vortisitas.
ζ, η	Koordinat natural pada arah x dan y .
λ	Matriks vektor variabel.
$\lambda(x)$	Operator diferensial.
μ	Viskositas dinamik.
ν	Viskositas kinematik.
ρ	Densitas fluida.
σ	Tegangan normal.
τ	Tegangan geser aliran laminar.
φ	Fungsi interpolasi.



BAB SATU

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. LATAR BELAKANG MASALAH.

Pemodelan suatu phenomena alam dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada : keandalan, akurasi dan kepentingan hasil yang diinginkan. Menurut Hosseinipour (1983), ada lima macam model yang dapat digunakan dalam studi mekanika fluida, yaitu :

1. Model fisik.

Model fisik menggunakan model dengan skala tertentu untuk mewakili objek yang sesungguhnya. Model ini kemudian diuji di laboratorium. Model ini kurang fleksibel dan mahal, sehingga biasanya hanya digunakan untuk masalah-masalah yang kompleks.

2. Model matematis.

Model matematis melibatkan teknik-teknik penyelesaian persamaan-persamaan diferensial parsial yang menggambarkan permasalahan yang diteliti.

3. Model phenomena.

Model ini berdasarkan pada pengamatan atau observasi di lapangan untuk pengumpulan data-data. Model ini bersifat sangat spesifik dan

membutuhkan waktu lama dalam pengumpulan data.

4. Model stokastik.

Model ini menggunakan teori probabilitas untuk memprediksi perilaku aliran fluida yang dipelajari. Model ini membutuhkan banyak data dan bersifat empiris.

5. Model analogi elektrik.

Model ini merupakan simulasi aliran fluida dengan menggunakan aliran listrik. Model ini membutuhkan biaya yang tinggi, bersifat spesifik dan kurang fleksibel.

Dari lima macam model tersebut diatas, yang sering digunakan adalah model fisik dan model matematis. Tetapi dibandingkan dengan model fisik, model matematis mempunyai kelebihan dari segi biaya dan waktu, sehingga model ini paling banyak digunakan. Berdasarkan metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan, model matematis dibagi menjadi : model integrasi analitis, model grafis dan model numerik. Model integrasi analitis dan grafis sangat terbatas penggunaannya karena melibatkan penyederhanaan, linierisasi dan idealisasi. Model numerik merupakan model yang paling banyak dan paling luas digunakan dari model matematis.

Ada tiga metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan dalam model numerik, yaitu :

1. Metode Karakteristik (*Characteristic Method*).

Dalam metode ini, persamaan diferensial parsial yang mengatur aliran fluida direduksi menjadi persamaan diferensial biasa, dengan menghilangkan dimensinya. Kumpulan persamaan transformasi yang disebut persamaan karakteristik ini kemudian diselesaikan dengan pendekatan numerik.

2. Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*).

Metode ini menggunakan deret Taylor sebagai persamaan dasar untuk menggambarkan turunan dari suatu variabel, sebagai perbedaan nilai variabel pada berbagai titik ruang atau waktu. Bila kita mengetahui nilai-nilai dari suatu variabel tak bebas yang disebut sebagai nilai acuan, ekspansi dari deret Taylor dapat digunakan untuk menentukan nilai-nilai variabel bebas pada suatu jarak kecil dari nilai acuan itu. Selanjutnya, teknik-teknik penyelesaian yang digunakan dalam metode ini dapat dilihat pada Smith (1985).

3. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*).

Dalam metode ini, domain yang digambarkan oleh persamaan diferensial parsial dibagi-bagi menjadi sejumlah sub-domain yang disebut elemen. Tiap-tiap elemen menggambarkan perubahan kecil dari suatu variabel tak bebas, sehingga kumpulan elemen-elemen ini akan menghasilkan gambaran tentang perubahan dari keseluruhan domain. Pembahasan mengenai metode ini dapat dilihat pada bab-bab selanjutnya.

Baik metode beda hingga (FDM) maupun metode elemen hingga (FEM) sering digunakan dalam studi aliran fluida. Studi perbandingan FDM dan FEM yang dilakukan oleh Hosseinipour (1983) dan Reddy (1984) menunjukkan keunggulan FEM sebagai berikut :

1. FEM lebih fleksibel untuk geometri yang kompleks dan tidak teratur.
2. Ukuran dan bentuk elemen yang berbeda dapat dikembangkan dalam satu program.
3. Bila pemodelan untuk suatu masalah sudah ada, mudah dimodifikasi untuk masalah lain yang serupa.
4. FEM mempunyai prosedur sistematis untuk menurunkan fungsi pendekatan.

Sedangkan kekurangan FEM adalah pembuatan programnya lebih sulit dan waktu komputasi lebih lama sehingga untuk masalah yang sama, pemodelan dengan FEM lebih mahal.

Dalam penelitian ini, akan dikembangkan model elemen hingga untuk aliran fluida dalam pipa. Studi ini penting untuk dilakukan karena pipa sebagai sarana transportasi fluida sering dijumpai dalam industri maritim (*offshore industry*). Sebagai contoh, Maxus yang beroperasi di pantai utara Pulau Jawa bagian barat dengan sekitar 60 buah anjungan lepas pantai, memiliki pipa bawah laut (*gathering line*) sepanjang 439 km [Setiawan, 1995]. Di Jawa Timur terdapat jaringan pipa gas yang menghubungkan

Pulau Pagerungan Besar dengan Gresik sepanjang 430 km yang terdiri dari 360 km pipa bawah laut dan 70 km pipa di darat. Dan saat ini sedang direncanakan pembangunan pipa gas trans Asean dengan panjang total sekitar 850 km [Jinsi, 1992].

1. 2. PERUMUSAN MASALAH.

1. Bagaimana metode elemen hingga digunakan untuk pemodelan aliran fluida dalam pipa ?
2. Berapakah ketelitian metode elemen hingga bila dibandingkan dengan penyelesaian analitis ?

1. 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan model elemen hingga untuk studi perilaku aliran fluida dalam pipa.
2. Mengetahui ketelitian metode ini bila digunakan untuk model aliran fluida dalam pipa.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah model ini dapat digunakan untuk studi perilaku aliran dalam pipa.

1. 4. BATASAN MASALAH.

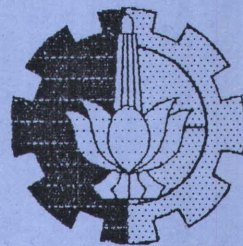
1. Fluida mempunyai sifat viscous, incompressible, dengan sifat aliran steady, laminar dan dua dimensi.
2. Pipa mempunyai penampang bulat, dengan aliran fluida memenuhi seluruh penampang pipa.
3. Bentuk pipa yang diteliti meliputi : pipa lurus, pipa ekspansi berangsur dan pipa belok dengan posisi pipa pada bidang datar.
4. Diskritisasi domain yang diberikan menggunakan elemen segilempat.
5. Penurunan persamaan elemen menggunakan metode residu berbobot Galerkin.
6. Tidak ada perpindahan energi / kalor pada sistem aliran.

1. 5. METODOLOGI.

Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur.
2. Menentukan spesifikasi dan sifat-sifat aliran fluida.
3. Diskritisasi domain yang diberikan menjadi kumpulan elemen.
4. Menurunkan persamaan untuk elemen-elemen dalam mesh.

6. Memodifikasi persamaan sistem sesuai dengan kondisi batas yang diberikan.
7. Menyelesaikan persamaan sistem.
8. Analisa hasil dan menarik kesimpulan.
9. Pembuatan laporan.



BAB DUA

BAB II

DASAR TEORI

2. 1. DASAR-DASAR ALIRAN FLUIDA.

2.1.1. Klasifikasi Aliran Fluida.

Aliran fluida itu rumit dan tidak selalu tunduk pada analisis matematis yang pasti. Tidak seperti padatan, elemen-elemen fluida yang mengalir biasanya bergerak dengan kecepatan-kecepatan yang berbeda dan dapat mengalami percepatan yang berbeda pula. Aliran fluida dapat berupa : aliran mantap atau tak mantap, merata atau tak merata, laminar atau turbulen dan rotasional atau tak rotasional [White, 1988 dan Giles, 1993].

1. Aliran Mantap dan Tak Mantap.

Aliran mantap terjadi jika kecepatan partikel-partikel fluida di sembarang titik yang berurutan sama pada jangka waktu yang berurutan. Jadi kecepataannya tetap terhadap waktu atau $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$, tetapi bisa berubah-ubah pada titik-titik yang berbeda atau terhadap jarak. Sedangkan aliran disebut tak mantap apabila kecepatan di sembarang titik berubah terhadap waktu atau $\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$.

2. Aliran Merata dan Tak Merata.

Aliran merata terjadi bila besar dan arah kecepataannya tidak berubah

dari titik ke titik di dalam fluida, atau $\frac{\partial V}{\partial s} = 0$. Pernyataan ini menerangkan bahwa variabel-variabel fluida lainnya tidak berubah bersama jarak, atau $\frac{\partial y}{\partial s} = 0$, $\frac{\partial p}{\partial s} = 0$, $\frac{\partial \rho}{\partial s} = 0$ dan seterusnya. Aliran tak merata terjadi bila kecepatan, kedalaman, tekanan dan seterusnya, berubah dari titik ke titik dalam aliran fluida tersebut, atau $\frac{\partial V}{\partial s} \neq 0$.

3. Aliran Laminer dan Turbulen.

Dalam aliran laminer partikel-partikel fluidanya bergerak di sepanjang lintasan-lintasan lurus, sejajar dalam lapisan-lapisan (laminae). Besarnya kecepatan dalam laminae yang berdekatan tidak sama. Aliran laminer diatur oleh hukum yang menghubungkan tegangan geser dengan laju perubahan bentuk sudut, yaitu hasil kali kekentalan fluida dan gradien kecepatannya atau $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$.

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak secara acak ke semua arah, sehingga tidak mungkin untuk menjejaki gerakan sebuah partikel tersendiri. Tegangan geser untuk aliran turbulen dapat dinyatakan sebagai $\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{dy}$. Dimana η adalah faktor yang menyatakan efek-efek gerakan turbulen.

4. Aliran Rotasional dan Tak Rotasional.

Rotasi suatu partikel fluida pada sumbu tertentu, misalnya sumbu z, didefinisikan sebagai kecepatan sudut rata-rata dua buah elemen garis yang kecil tak hingga pada partikel tersebut, yang tegak lurus terhadap satu sama lain serta sumbu yang ditetapkan itu.

Jika partikel-partikel fluida dalam suatu daerah mempunyai rotasi seputar sumbu, alirannya disebut aliran rotasional. Dan bila tidak mengalami rotasi disebut aliran tak rotasional. Aliran tak rotasional mempunyai vortisitas yang dapat diabaikan atau $\zeta = 0$, dimana :

$$\zeta = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix}$$

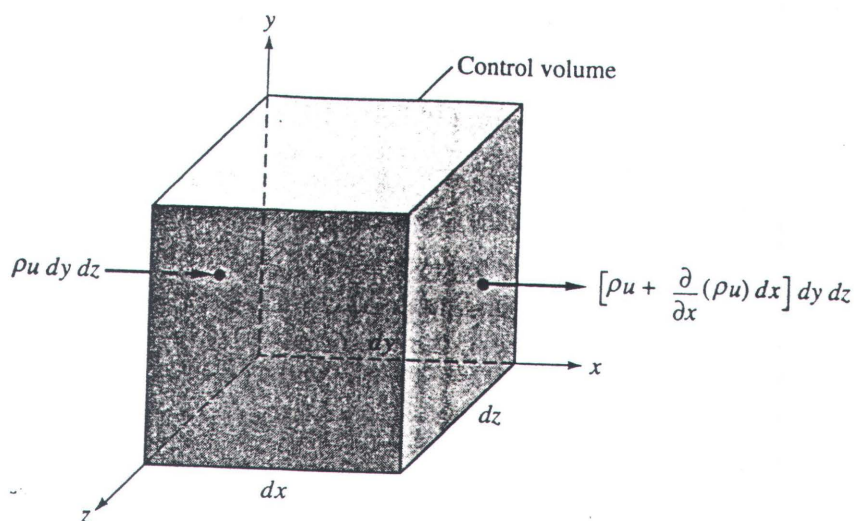
2.1.2. Persamaan Dasar Aliran Fluida.

Ada tiga persamaan utama yang mengatur aliran fluida yaitu : persamaan kontinuitas, persamaan momentum dan persamaan energi. Tetapi untuk fluida dengan kerapatan dan kekentalan yang tetap, dimana tidak terjadi perpindahan kalor, persamaan energi dapat diabaikan. Sehingga hanya persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang akan dibahas disini.

1. Persamaan kontinuitas.

Persamaan kontinuitas diturunkan dari hukum kekekalan massa sebagai berikut [White, 1988] :

- ♦ Misalkan komponen-komponen kecepatan dalam arah x, y dan z adalah u, v dan w. Tinjaulah aliran melalui suatu volume kendali yang dimensinya dx, dy dan dz seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.1

Massa aliran yang masuk dan keluar volume kendali pada arah x.

- ♦ Bila kita perhatikan semua massa aliran yang masuk dan keluar pada suatu volume kendali, akan diperoleh tabel sebagai berikut :

Tabel 2.1 Massa aliran fluida pada volume kendali.

Sisi	Massa aliran masuk	Massa aliran keluar
x	$\rho \cdot u \cdot dy \cdot dz$	$\left[\rho u + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) dx \right] dy dz$
y	$\rho \cdot v \cdot dx \cdot dz$	$\left[\rho v + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) dy \right] dx dz$
z	$\rho \cdot w \cdot dx \cdot dy$	$\left[\rho w + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) dz \right] dx dy$

Sehingga aliran masuk bersih dalam arah x, y dan z menjadi :

$$\left[\frac{\partial}{\partial x} \rho u + \frac{\partial}{\partial y} \rho v + \frac{\partial}{\partial z} \rho w \right] dx dy dz \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

- ♦ Laju perubahan massa positif di dalam volume kendali adalah :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (dx dy dz) \dots\dots\dots (2.2)$$

- ♦ Karena aliran masuk bersih adalah sama dengan laju perubahan positifnya, maka dengan menyamakan persamaan (2.1) dan (2.2) akan diperoleh :

$$\frac{\partial}{\partial x} \rho u + \frac{\partial}{\partial y} \rho v + \frac{\partial}{\partial z} \rho w = \frac{\partial \rho}{\partial t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Ini adalah persamaan kontinuitas untuk aliran tiga dimensi , tak mantap dari suatu fluida mampu mampat.

- ♦ Untuk aliran mantap $\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0\right)$ dan tak mampu mampat ($\rho = \text{tetap}$) aliran tiga dimensinya menjadi :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Persamaan Momentum.

Persamaan momentum diturunkan dengan memperhatikan unit massa fluida dan percepatan dalam bentuk persamaan diferensial sebagai penerapan dari hukum Newton ke dua.

- ♦ Pada arah x hukum kedua Newton dirumuskan sebagai :

$$\Sigma F_x = m \cdot a_x$$

Dengan mendefinisikan $a_x = du/dt$, dimana u adalah kecepatan dalam arah x dan $u = f(x,y,z,t)$ maka total derivatif dari u terhadap t adalah :

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

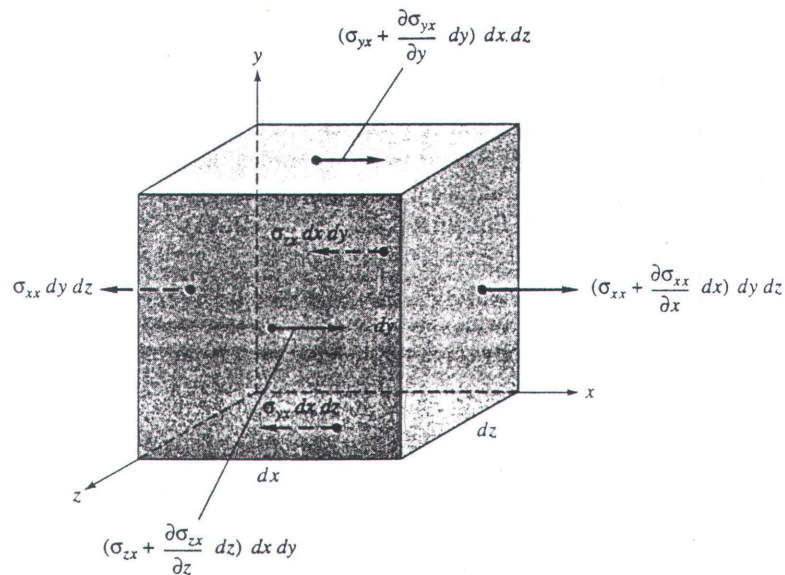
Karena $dx/dt = u$, $dy/dt = v$ dan $dz/dt = w$ maka percepatan total adalah :

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

- ♦ Dari gambar dibawah dengan menerapkan hukum ke dua Newton diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali, yaitu :

Gaya gravitasi + gaya tekanan + gaya kekentalan

= massa x percepatan



Gambar 2.2

Gaya-gaya pada volume kendali dalam arah x.

Pada arah x :

$$(\rho g_x) dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) dy dz - \tau_{xx} dy dz$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) dx dz - \tau_{yx} dx dz \\
 & + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) dx dy - \tau_{zx} dx dy = (\rho dx dy dz) \frac{Du}{Dt}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Bila persamaan (2.6) diatas dibagi dengan volume kubus $dx dy dz$ akan diperoleh persamaan momentum pada arah x :

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \frac{Du}{Dt}
 \tag{2.7}$$

Dengan cara yang sama dapat kita peroleh persamaan momentum untuk arah y dan z sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} &= \rho \frac{Dv}{Dt} \\
 \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} &= \rho \frac{Dw}{Dt}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

♦ Persamaan Navier-Stokes :

Persamaan kontinuitas diatas dapat disederhanakan lagi dengan mengambil asumsi fluida Newton dengan kerapatan dan kekentalan tetap, dengan suku gaya kekentalan :

$$\begin{aligned}
 \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \\
 \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} & \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\
 \tau_{xz} = \tau_{zx} &= \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \tau_{yz} = \tau_{zy} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

dimana μ adalah koefisien kekentalan.

Bila persamaan (2.9) ini disubstitusikan ke persamaan (2.7) dan (2.8) akan diperoleh persamaan Navier-Stokes pada arah x, y dan z sebagai berikut :

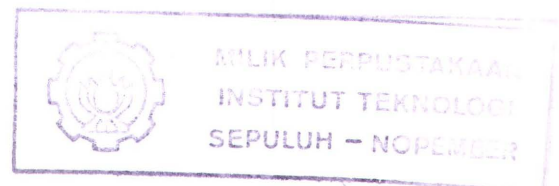
$$\begin{aligned}\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) &= \rho \frac{Du}{Dt} \\ \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) &= \rho \frac{Dv}{Dt} \\ \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) &= \rho \frac{Dw}{Dt}\end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Persamaan diatas dinamakan menurut *C.L.M.H. Navier (1785-1836)* dan *Sir George G Stokes (1819-1903)* yang diakui menurunkannya.

Untuk aliran dua dimensi, persamaan (2.10) diatas menjadi :

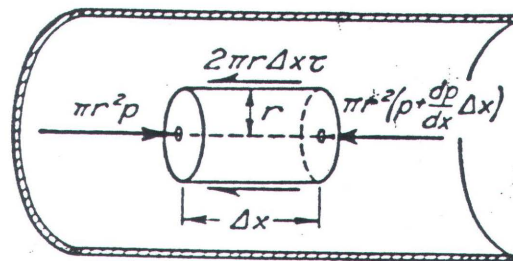
$$\begin{aligned}\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) &= \rho \frac{Du}{Dt} \\ \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) &= \rho \frac{Dv}{Dt}\end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

2.1.3. Aliran Dalam Pipa.



Pada bagian ini akan diuraikan mengenai distribusi kecepatan aliran fluida dalam pipa, untuk aliran laminar, tak mampu mampat (*incompressible*), mantap (*steady*) melalui pipa berpenampang lingkaran. Dimana persamaan distribusi kecepatan ini kemudian akan digunakan untuk input kecepatan dalam program komputer.

- ♦ Pertama, kita ambil suatu bentuk silinder yang kecil seperti gambar berikut :



Gambar 2.3

Diagram benda bebas untuk elemen berbentuk silinder dalam tabung lingkaran.

- ♦ Untuk aliran mantap, setiap partikel bergerak ke arah kanan tanpa percepatan. Jadi penjumlahan gaya dalam arah x harus sama dengan nol.

$$p_1(\pi r^2) - p_2(\pi r^2) - \tau(2\pi rL) = 0 \quad \text{atau}$$

$$\tau = \frac{(p_1 - p_2)r}{2L} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

- ♦ Untuk aliran laminar, tegangan gesernya adalah :

$$\tau = -\mu \left(\frac{dv}{dr} \right) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

- ♦ Dengan menyamakan persamaan (2.12) dan (2.13) akan diperoleh :

$$-\mu \frac{dv}{dr} = \frac{(p_1 - p_2)r}{2L} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

- ♦ Karena $(p_1 - p_2)/L$ bukan fungsi dari r , maka :

$$-\int_{v_c}^v dv = \frac{p_1 - p_2}{2\mu L} \int_0^r r \cdot dr \quad \text{atau}$$

$$-(v - v_c) = \frac{(p_1 - p_2)r^2}{4\mu L} \quad \text{atau}$$

$$v = v_c - \frac{(p_1 - p_2)r^2}{4\mu L} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

- ♦ Karena kecepatan pada batas ($r = r_0$) sama dengan nol ($v = 0$), maka akan diperoleh kecepatan pada tengah-tengah garis :

$$v_c = \frac{(p_1 - p_2)r_0^2}{4\mu L} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

- ♦ Dan persamaan umum kecepatannya adalah :

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\mu L} (r_0^2 - r^2) \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

2. 2. METODE ELEMEN HINGGA.

2.1. Sejarah Singkat.

Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik untuk analisa kontinum, yang biasanya terlalu sulit untuk diselesaikan dengan analisis klasik. Bermula pada tahun 1906, para periset mengusulkan suatu "analogi kisi" untuk analisa tegangan dimana kontinum digantikan oleh batang-batang elastis yang teratur. Batang yang dipilih mempunyai sifat displasemen pada sambungan yang sama dengan displasemen pada titik-titik dalam kontinum.

Courant adalah orang pertama yang mengusulkan metode elemen hingga seperti yang kita kenal sekarang ini. Pada tahun 1941 dalam kuliah matematika, yang dipublikasikan tahun 1943, Courant menggunakan prinsip energi potensial dan interpolasi polinomial dengan elemen segitiga untuk

mempelajari masalah puntiran Saint-Venant.

Pada tahun 1953, para insinyur mengembangkan persamaan kekakuan dalam bentuk matriks dan menyelesaikannya dengan komputer digital. Kebanyakan pekerjaan ini dilakukan di industri pesawat terbang. Pada tahun yang sama, Turner menyarankan penggunaan elemen segitiga untuk memodelkan kulit sayap delta pada Boing Airplane Co. Hasil pekerjaan ini, yang dipublikasikan hampir bersamaan dengan pekerjaan serupa di Inggris, menandai permulaan pemakaian metode elemen hingga secara luas. Sedangkan nama "metode elemen hingga" pertama kali disebutkan pada pekerjaan Clough tahun 1960. Sekarang ini metode elemen hingga merupakan pendekatan terbaik yang dapat digunakan dalam analisa numerik untuk suatu kontinum. Aplikasi metode ini telah berkembang dari analisa struktur ke hampir semua bidang, meliputi bidang listrik dan magnetik, mekanika fluida dan hidrolika, perpindahan kalor dan energi, konsolidasi dan rembesan pada tanah, sampai pada pemodelan reservoir minyak.

2.2.2. Konsep Dasar Elemen Hingga.

Bila suatu kontinum dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka bagian-bagian ini disebut elemen hingga. Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen ini kecil berhingga dan memiliki geometri yang lebih sederhana dibandingkan dengan kontinumnya. Proses

pembagian suatu kontinum menjadi elemen-elemen dikenal sebagai proses diskritisasi.

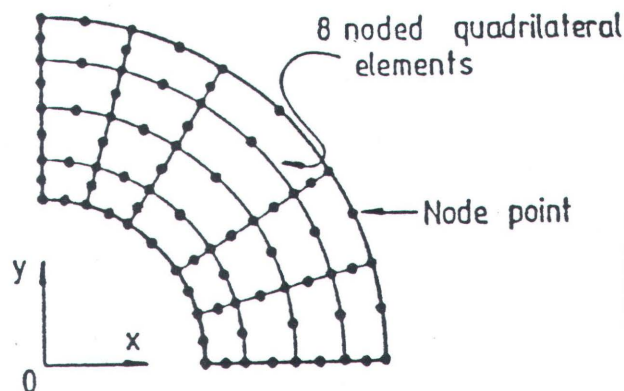
Langkah-langkah dalam metode elemen hingga secara lengkap adalah [Desai, 1988 dan Cook dkk, 1989] :

1. Diskritisasi dan pemilihan elemen.

Langkah ini menyangkut pembagian kontinum menjadi sejumlah bagian kecil yang dinamakan elemen-elemen hingga. Perpotongan antara sisi-sisi elemen dinamakan simpul atau node. Bentuk-bentuk elemen yang akan digunakan bergantung pada karakteristik rangkaian kesatuan dan idealisasi yang kita pilih. Sebagai contoh, jika suatu kontinum diidealisasikan sebagai garis satu dimensi, maka elemen yang digunakan adalah elemen garis. Untuk benda-benda dua dimensi dapat digunakan elemen segitiga dan segiempat, sedangkan untuk analisa tiga dimensi dapat menggunakan prisma segienam (hexahedron).

2. Memilih fungsi pendekatan.

Dalam langkah ini, kita memilih suatu pola atau bentuk untuk distribusi besaran yang tak diketahui, yang dapat berupa suatu perpindahan atau tegangan untuk persoalan tegangan-deformasi, atau temperatur dalam persoalan perpindahan kalor, tekanan dan kecepatan untuk persoalan aliran fluida dan dapat juga merupakan persoalan gabungan diantara beberapa hal tersebut.



Gambar 2.4

Contoh meshing 2-D dengan elemen 8 node.

Titik-titik simpul elemen merupakan titik-titik strategis untuk penulisan fungsi matematis yang menggambarkan bentuk distribusi dari besaran yang tidak diketahui. Sejumlah fungsi matematis seperti polinomial dan trigonometri dapat dipakai untuk maksud ini, tetapi polinomial akan memberikan perumusan yang lebih mudah dan sederhana.

3. Menurunkan persamaan-persamaan elemen

Untuk penurunan persamaan-persamaan elemen, kita harus menentukan besaran-besaran yang tepat mempergunakan prinsip-prinsip yang mengatur perilaku elemen. Sebagai contoh, untuk persoalan tegangan-deformasi adalah hukum tegangan-regangan atau hukum

Hooke, sedangkan untuk aliran fluida adalah hukum kekekalan massa dan momentum.

Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk menurunkan persamaan. Cook dkk (1989) membaginya menjadi tiga, yaitu : metode langsung, metode energi potensial atau variasi dan metode residu berbobot. Tetapi yang sering digunakan adalah metode energi dan metode residu. Persamaan yang menggambarkan perilaku elemen dapat dinyatakan sebagai :

$$[k]\{q\} = \{Q\} \quad \text{..... (2.18)}$$

Dimana :

$[k]$ = matriks sifat elemen

$\{q\}$ = vektor besaran yang tak diketahui pada simpul elemen

$\{Q\}$ = Vektor gaya simpul

4. Perakitan persamaan elemen menjadi persamaan global.

Bila kita sudah mempunyai persamaan-persamaan elemen maka kita dapat menjumlahkannya untuk mendapatkan persamaan global yang menggambarkan perilaku keseluruhan dari suatu kontinum. Proses ini disebut proses perakitan yang didasarkan pada hukum kecocokan atau kekontinuan, yang berarti perpindahan pada dua titik yang bersebelahan atau berurutan harus mempunyai nilai-nilai yang identik.

Akhirnya kita akan mempunyai persamaan global yang dinyatakan sebagai :

$$[K] \{r\} = \{R\} \quad \text{..... (2.19)}$$

Dimana :

$[K]$ = matriks sifat rakitan

$\{r\}$ = vektor rakitan dari simpul

$\{R\}$ = vektor rakitan dari parameter pemaksa simpul

5. Modifikasi persamaan global sesuai syarat-syarat batas.

Syarat batas adalah suatu batasan atau penyangga sehingga suatu benda atau kontinum dapat berdiri sendiri dalam ruang. Hanya bila kita memasukkan syarat-syarat batas ini, kita dapat mengetahui bagaimana suatu kontinum berperilaku.

Syarat batas ini, dibagi menjadi dua yaitu syarat batas permukaan yang disebut syarat batas pokok atau geometris dan gradien atau turunan dari besaran yang tidak diketahui yang disebut syarat batas alamiah.

6. Menyelesaikan persamaan sistem.

Penyelesaian persamaan sistem akan memberikan hasil dari besaran-besaran yang ingin diketahui, baik besaran primer maupun besaran sekunder. Besaran primer adalah besaran yang pertama kali

diperoleh bila kita menyelesaikan persamaan sistem dan besaran sekunder adalah besaran yang akan kita dapatkan dari besaran primer melalui hubungan tertentu.

Sebagai contoh pada aliran fluida dengan formulasi stream function-vorticity, potensial kecepatan dan fungsi aliran adalah besaran primer sedangkan kecepatan dan debit adalah besaran sekunder.

7. Interpretasi hasil.

Interpretasi hasil merupakan tahap *post-processing*. Dalam tahap ini kita mengolah keluaran yang ada, membuat tabel atau grafik dari hasil-hasil tersebut dan menarik kesimpulan atas apa yang telah kita kerjakan.

2.2.3. Formulasi Persamaan Elemen.

Menurut Cook dkk (1989) ada tiga cara untuk menurunkan persamaan elemen dan matriks karakteristik elemen, yaitu : metode langsung, metode energi atau variasi dan metode residu berbobot. Dari ketiga metode diatas, yang sering digunakan adalah metode variasi dan metode residu.

1. Metode langsung (*Direct Method*).

Metode langsung (*direct method*) menggunakan prinsip-prinsip fisik untuk menurunkan persamaan elemen dari sistem yang telah diidealisasi

menjadi elemen-elemen kecil. Metode ini terbatas penggunaannya pada sistem-sistem sederhana seperti truss dan beam pada kasus struktural.

2. Metode Energi Potensial (*Variational Method*).

Metode ini didasarkan pada ide pencarian status-status yang konsisten dari benda atau struktur yang dihubungkan dengan nilai-nilai stationer dari suatu besaran skalar dengan asumsi bahwa benda itu dibebani. Istilah stationer berarti suatu maksimum, minimum, atau titik pelana (*saddle point*) dari suatu fungsi $F(x)$ dibawah batas-batas tertentu. Untuk mencari nilai stationer ini, kita menyamakan turunan fungsi F dengan nol atau $\frac{dF}{dx} = 0$

Energi potensial didefinisikan sebagai jumlah energi regangan internal U dan energi potensial dari beban eksternal W_p atau :

$$\Pi_p = U + W_p \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Jika kita menerapkan prinsip potensial minimum, maka kita mengambil turunan atau variasi dari Π_p dan menyamakannya dengan nol.

Sehingga diperoleh :

$$\delta\Pi_p = \delta U - \delta W_p \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Simbol δ menyatakan turunan terhadap variabel bebas dalam suku -suku dimana simbol itu dinyatakan. Misalnya bila :

$$\Pi_p = \Pi_p(u_1, u_2, \dots, u_n) \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

maka $\delta\Pi_p = 0$ berarti :

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Pi_p}{\partial u_1} &= 0 \\ \frac{\partial \Pi_p}{\partial u_2} &= 0\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial u_n} = 0$$

Dimana n adalah jumlah total dari variabel yang tidak diketahui.

3. Metode Residu Berbobot (*Weighted Residual Method*)

Metode ini didasarkan pada minimisasi residu atau sisa yang tertinggal setelah suatu jawaban pendekatan disubstitusikan ke persamaan diferensial yang mengatur suatu persoalan. Tujuannya adalah mencari suatu jawaban yang mempunyai kesalahan sekecil mungkin. Hal ini dapat diperoleh dengan mengalikan persamaan residu dengan suatu fungsi bobot (*weighting function*).

Terdapat beberapa cara untuk mendapatkan fungsi bobot yang diinginkan seperti metode Galerkin, metode kolokasi dan metode kuadrat terkecil. Metode Galerkin adalah metode yang paling umum dipakai dalam penerapan elemen hingga.

2.2.4. Metode Residu Berbobot Galerkin.

Dari tiga metode yang disebutkan diatas, yang sesuai untuk studi aliran fluida adalah metode residu berbobot. Konsep dasar metode ini dapat

dilihat pada Allen dkk (1988) dan Desai (1988).

- ♦ Suatu persamaan diferensial dapat dituliskan dalam bentuk operatormya sebagai berikut :

$$\lambda[u(x)] - f(x) = 0, \quad x \in \Omega \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$\lambda(x)$ = operator diferensial

$f(x)$ = fungsi pemaksa

Ω = domain

Bila didefinisikan suatu *trial function* $\hat{u}(x)$ sebagai fungsi superposisi linier dari *shape function* N_i , yaitu :

$$\hat{u}(x) = N_o + \sum_{i=1}^n u_i \cdot N_i \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Karena n adalah berhingga, $\hat{u}(x)$ akan memberikan hasil yang berbeda dengan penyelesaian sesungguhnya $u(x)$. Sehingga substitusi persamaan (2.25) ke persamaan (2.24) akan memberikan residu $R(x,u)$.

- ♦ Tujuan dari metode ini adalah meminimalkan residu. Hal ini dapat dicapai dengan mengalikan residu $R(x,u)$ dengan suatu fungsi bobot (*weighting function*) $W_j(x)$. Hasil perkalian ini kemudian di integrasi dan disamakan dengan nol. Dua tahap prosedur ini akan menghilangkan residu dengan paksa sehingga diperoleh :

$$\int_{\Omega} [\lambda(\hat{u}(x)) - f(x)] W_j(x) dx = 0, j = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Berdasarkan pemilihan fungsi bobot yang digunakan, metode residu dibagi lagi menjadi metode Galerkin, metode kolokasi dan metode kuadrat terkecil. Metode Galerkin menggunakan fungsi bentuk sebagai fungsi bobot ($W_i = N_i$), karena lebih sederhana metode ini merupakan metode residu yang paling banyak dipakai. Sedangkan metode lainnya menggunakan fungsi bobot yang berbeda dari fungsi bentuknya.

Metode Galerkin.

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sebagai fungsi bobot sehingga persamaan (2.26) dapat ditulis sebagai :

$$\int_{\Omega} R(x, u) \cdot N_i(x) dx = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Penggunaan persamaan diatas dapat dilihat pada bab selanjutnya.

2.2.5. Elemen Isoparametrik.

Elemen isoparametrik dapat digunakan untuk menghasilkan elemen dengan sisi-sisi kurvatis sehingga sangat bermanfaat untuk persoalan-persoalan dengan domain tidak teratur terutama persoalan non-struktural. Istilah *isoparametrik* berarti mempunyai parameter yang sama, karena elemen ini menggunakan fungsi interpolasi yang sama untuk menunjukkan koordinat maupun besaran yang dicari.

Karena formulasi dengan elemen ini menggunakan koordinat lokal (*natural coordinate*), maka diperlukan suatu matriks transformasi yang

disebut Jacobian untuk mengubah formulasi elemen tersebut ke koordinat global.

Untuk pendekatan dua dimensi, diskritisasi domain (*meshing*) dapat menggunakan elemen segitiga maupun kuadrilateral (bersisi empat). Pada pembahasan selanjutnya akan dijelaskan tentang formulasi elemen segiempat dengan empat dan delapan node, dalam koordinat lokal dan transformasinya ke koordinat global.

- ♦ Sebuah elemen kuadrilateral dengan empat simpul akan mempunyai empat derajat kebebasan simpul :

$$\phi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

atau :

$$\phi = [\Phi]\{\alpha\} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & xy \end{bmatrix}$$

$$\{\alpha\}^T = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \end{bmatrix}$$

- ♦ Untuk model bilinier, suatu besaran yang dicari pada empat keempat simpul akan memberikan :

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_4 x_1 y_1 \\ \phi_2 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_4 x_2 y_2 \\ \phi_3 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_4 x_3 y_3 \\ \phi_4 &= \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_4 x_4 y_4 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

atau :

$$\{q_\phi\} = [A]\{\alpha\} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

$$\{q_\phi\}^T = \begin{bmatrix} \phi_1 & \phi_2 & \phi_3 & \phi_4 \end{bmatrix}$$

$[A]$ = matriks bujur sangkar dari koordinat simpul

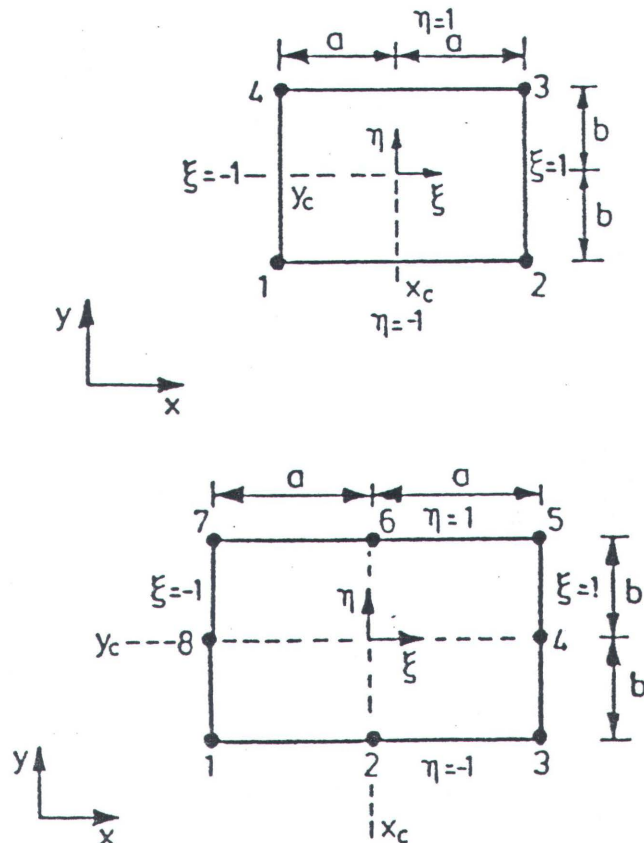
Kita dapat memecahkan $\{\alpha\}$ sebagai :

$$\{\alpha\} = [A]^{-1}\{q_\phi\}$$

Dengan mensubstitusikan hasilnya ke persamaan (2.29) akan memberikan :

$$\phi = [N]\{q_\phi\} = \sum_{i=1}^4 N_i \phi_i \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

Fungsi bentuk :



Gambar 2.5

Elemen segiempat (4 node) dalam koordinat natural (lokal)

- ♦ Dari gambar diatas, diperoleh hubungan antara koordinat lokal dan global adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{x - x_c}{a}, & d\xi &= \frac{dx}{a} \\ \eta &= \frac{y - y_c}{b}, & d\eta &= \frac{dy}{b}\end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana (X_c, y_c) merupakan pusat dari elemen tersebut.

- ♦ Pada koordinat ini, fungsi interpolasi berubah menjadi :

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2\xi + \alpha_3\eta + \alpha_4\xi\eta \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

- ♦ $[N]$ merupakan matriks fungsi interpolasi yang dinyatakan dalam koordinat lokal yang tidak berdimensi.

$$\begin{aligned}N_1 &= \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta) \\ N_2 &= \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta) \\ N_3 &= \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta) \\ N_4 &= \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)\end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

- ♦ Fungsi bentuk untuk elemen dengan delapan node dapat diperoleh dengan mengikuti pola diatas.

Node sudut :

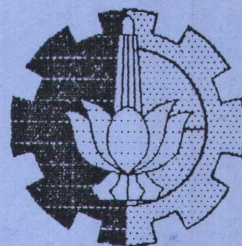
$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \zeta_i\xi)(1 + \xi_i\xi)(\xi_i\xi + \eta_i\eta - 1)$$

Node tengah :

$$\begin{aligned}N_i &= \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i\eta), & \xi_i &= 0 \\ N_i &= \frac{1}{2}(1 + \xi_i\xi)(1 - \eta^2), & \eta_i &= 0\end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana polinomial yang digunakan adalah :

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 xy^2 + \alpha_8 x^3 \dots\dots\dots (2.37)$$



BAB TIGA

BAB III

PEMODELAN ALIRAN FLUIDA

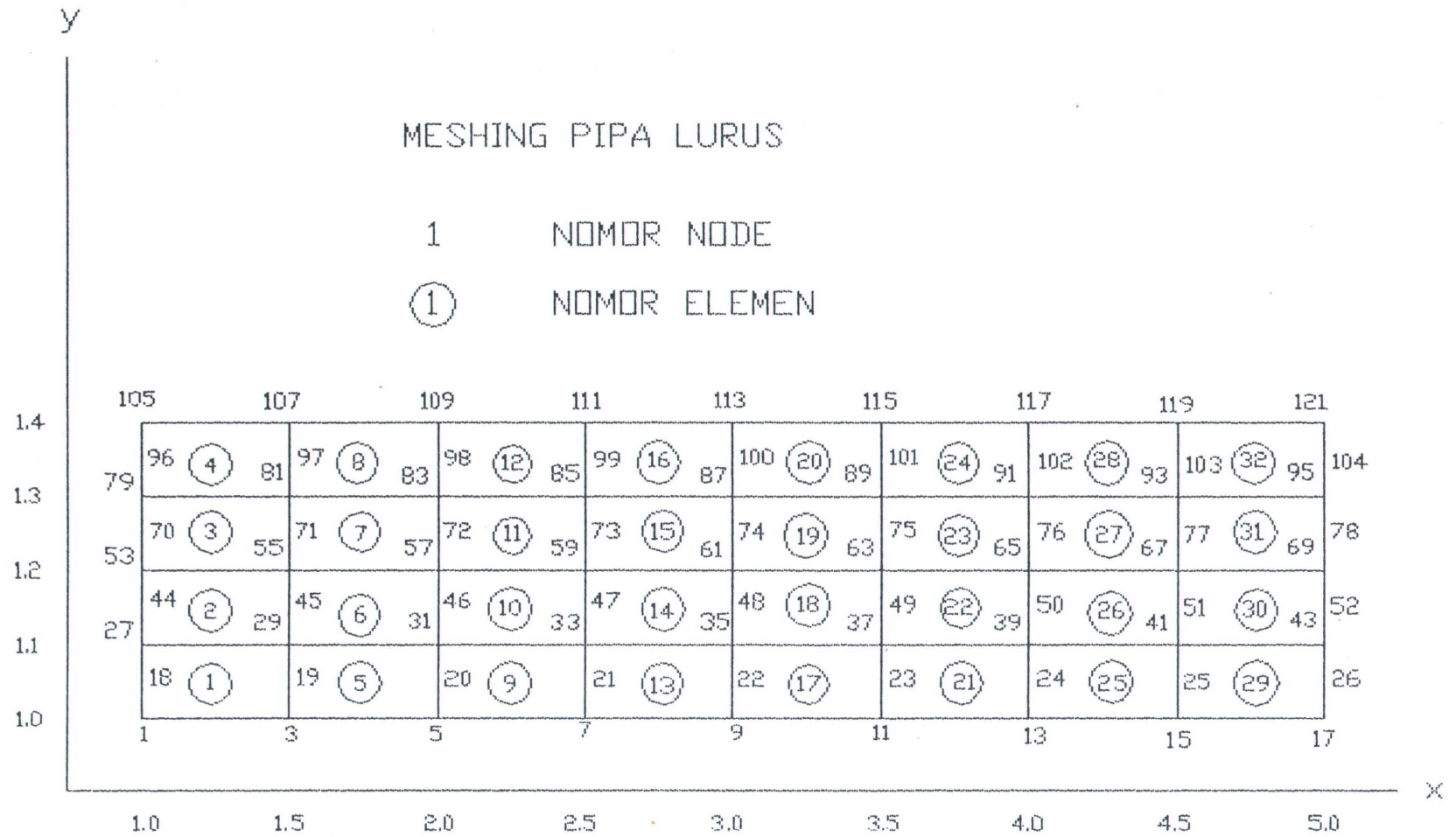
Pada bab ini akan diberikan uraian mengenai pemodelan aliran fluida dalam pipa sesuai dengan langkah-langkah yang telah diberikan pada bab dua mengenai konsep dasar metode elemen hingga dan metode residu berbobot Galerkin. Kemudian suatu program komputer yang merupakan hasil modifikasi pekerjaan Taylor & Hughes (1981) akan digunakan untuk perhitungan aliran fluida dalam pipa lurus, pipa belok dan pipa ekspansi berangsur.

3. 1. DISKRITISASI DAN PEMILIHAN ELEMEN.

Diskritisasi domain (meshing) akan menggunakan elemen kuadrilateral isoparametrik delapan node, yaitu satu node pada tiap sudut dan satu node ditengah tiap sisi. Adapun meshing dari masing-masing kasus diatas, dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

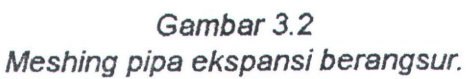
3. 2. MEMILIH FUNGSI PENDEKATAN.

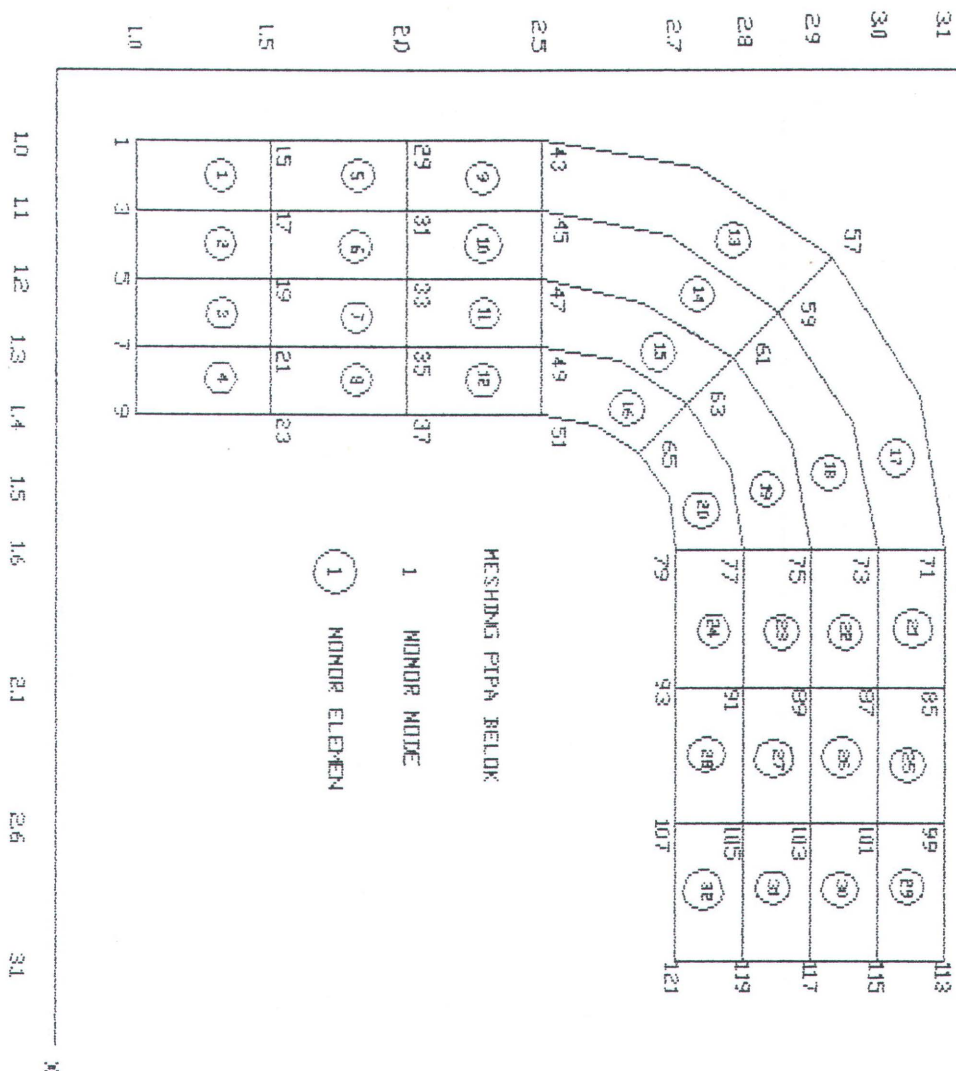
Untuk mewakili distribusi bentuk kecepatan dan tekanan yang dicari



Gambar 3.1

Meshing pipa lurus.





Gambar 3.3
Meshing pipa belok.

akan digunakan dua macam fungsi pendekatan, yaitu : polinomial linier untuk komponen tekanan dan kuadratis untuk komponen kecepatan.

♦ **Komponen kecepatan.**

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 xy^2 + \alpha_8 x^3 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} u &= \sum_{i=1}^n N_i u_i & n &= 8 \\ v &= \sum_{i=1}^n N_i v_i & n &= 8 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana :

$$\begin{aligned} N_i &= \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \xi_i \eta)(\xi_i \xi + \eta_i \eta - 1) & \text{pada node sudut} \\ N_i &= \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta) & \xi_i = 0 & \text{pada node tengah} \\ N_i &= \frac{1}{2}(1 + \xi_i \xi)(1 - \eta^2) & \eta_i = 0 & \dots\dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

♦ **Komponen tekanan.**

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

sehingga diperoleh :

$$p = \sum_{i=1}^m M_i p_i \quad m = 4 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana :

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta) \\ M_2 &= \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta) \\ M_3 &= \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta) \\ M_4 &= \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

3. 3. MENURUNKAN PERSAMAAN ELEMEN.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, metode Galerkin mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$\int_{\Omega} R(x, u) \cdot N_i(x) \cdot dx = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana :

- ♦ $R(x, u)$ adalah persamaan momentum dan kontinuitas aliran fluida.

Persamaan momentum :

pada arah x :

$$\rho \cdot g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0$$

pada arah y :

$$\rho \cdot g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

- ♦ $N_i(x)$ adalah fungsi pendekatan yang telah kita pilih pada langkah kedua. Fungsi pendekatan ini disebut juga fungsi bentuk (shape function).

Persamaan (3.8) dapat dituliskan dalam bentuk tanpa dimensi untuk aplikasi yang lebih luas sebagai berikut :

$$\hat{u} \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{x}} + \hat{v} \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{y}} = \frac{F_x \cdot l}{\rho u_o^2} - \frac{\partial \hat{p}}{\partial \hat{x}} + \frac{\mu}{\rho u_o \cdot l} \left(\frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial \hat{x}^2} + \frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial \hat{y}^2} \right)$$

$$\hat{u} \frac{\partial \hat{v}}{\partial \hat{x}} + \hat{v} \frac{\partial \hat{v}}{\partial \hat{y}} = \frac{F_y \cdot l}{\rho u_o^2} - \frac{\partial \hat{p}}{\partial \hat{y}} + \frac{\mu}{\rho u_o \cdot l} \left(\frac{\partial^2 \hat{v}}{\partial \hat{x}^2} + \frac{\partial^2 \hat{v}}{\partial \hat{y}^2} \right) \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

dan :

$$\begin{aligned} \hat{x} &= \frac{x}{l} \\ \hat{y} &= \frac{y}{l} \\ \hat{u} &= \frac{u}{u_o} \\ \hat{v} &= \frac{v}{u_o} \\ p &= \frac{p}{\rho u_o^2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

dimana :

l = panjang karakteristik

u_o = kecepatan acuan

F_x & F_y = gaya berat sendiri per unit volume pada arah x dan y

Sedangkan persamaan kontinuitas dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{x}} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial \hat{y}} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

Untuk memperoleh hasil yang lebih sederhana persamaan (3.10)

diatas dapat ditulis kembali dengan menggunakan :

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{\rho u_o \cdot l}{\mu} && \text{Angka Reynold} \\ F_R &= \frac{u_o}{g \cdot l} && \text{Angka Froude} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

dimana g merupakan percepatan gravitasi,

dan dengan menghilangkan tanda asteriknya persamaan menjadi :

$$\begin{aligned}
u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{l_{x1}}{F_R^2} - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{R_E} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\
u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{l_{x2}}{F_R^2} - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{R_E} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)
\end{aligned}
\tag{3.14}$$

dimana l_{x1} dan l_{x2} adalah arah cosinus dari sumbu x dan y global terhadap arah bidang gravitasi.

Sedangkan persamaan kontinuitasnya menjadi :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{3.15}$$

Persamaan (3.14) diatas dapat ditulis kembali dengan mengaplikasikan metode residu berbobot Galerkin sebagai :

$$\begin{aligned}
\sum_1^{ne} \int_{Ae} N_i \left[N_k u_k \sum_1^n \frac{\partial N_j}{\partial x} u_j + \sum_1^n N_k v_k \sum_1^n \frac{\partial N_j}{\partial y} u_j + \sum_1^n \frac{\partial M_i}{\partial x} p_i \right. \\
\left. - \frac{l_{x1}}{F_R^2} - \frac{1}{R_E} \left(\sum_1^n \frac{\partial^2 N_j}{\partial x^2} u_j + \sum_1^n \frac{\partial^2 N_j}{\partial y^2} u_j \right) \right] dAe = 0
\end{aligned}
\tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_1^{ne} \int_{Ae} \left[N_i N_k u_k \frac{\partial N_j}{\partial x} u_j + N_i N_k v_k \frac{\partial N_j}{\partial y} u_j + N_i \frac{\partial M_i}{\partial x} p_i \right. \\
&\quad \left. - N_i \frac{l_{x1}}{F_R^2} + \frac{1}{R_E} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} u_j + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} u_j \right) \right] dAe \\
&\quad - \int_{\angle_1^e} \frac{1}{R_E} N_i \frac{\partial N_j}{\partial n} u_j d\angle - \int_{\angle_2^e} \frac{1}{R_E} N_i \frac{\partial u_j}{\partial n} d\angle = 0
\end{aligned}
\tag{3.17}$$

dimana \angle_1^e dan \angle_2^e merupakan batas (boundary) dimana $\partial u / \partial n$ dinyatakan

dan $\angle_1^e + \angle_2^e = \angle^e$.

Persamaan momentum pada arah y dapat diperoleh dengan menukar variabel x dengan y dan u dengan v. Sedangkan persamaan kontinuitasnya menjadi :

$$\sum_1^{ne} \int_{Ae} M_i \left(\frac{\partial N_j}{\partial x} u_j + \frac{\partial N_j}{\partial y} v_j \right) dAe = 0 \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

4. 4. PERSAMAAN SISTEM DAN KONDISI BATAS.

Matriks assembly dari persamaan elemen diatas adalah :

$$A\lambda = F + B \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

dimana :

- ♦ Tiap koefisien matriks A mempunyai bentuk :

$$a_{ij} = \sum_1^{ne} \int \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} dA - \int_{\angle} \begin{bmatrix} \frac{1}{R_E} N_i \frac{\partial N_j}{\partial n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_E} N_i \frac{\partial N_j}{\partial n} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

dan

$$\begin{aligned} c_{11} &= N_i N_k u_k \frac{\partial N_j}{\partial x} + N_i N_k v_k \frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{1}{R_E} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) \\ c_{12} &= N_i \frac{\partial M_i}{\partial x} \quad c_{13} = 0 \quad c_{21} = M_i \frac{\partial N_j}{\partial x} \quad c_{22} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.21) \\ c_{23} &= M_i \frac{\partial N_j}{\partial y} \quad c_{31} = 0 \quad c_{32} = N_i \frac{\partial M_j}{\partial y} \quad c_{33} = c_{11} \end{aligned}$$

- ♦ λ merupakan matriks vektor variabel ,

$$\lambda = \begin{Bmatrix} u_i \\ p_i \\ v_i \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

- ♦ F merupakan kondisi batas alami ,

$$f = \sum_1^{ne} \int_{Ae} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} da \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

dimana :

$$f_1 = N_i \frac{l_{x1}}{F_R^2} \quad f_2 = 0 \quad f_3 = N_i \frac{l_{x2}}{F_R^2} \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

- ♦ Sedang matriks B adalah :

$$b_i = \sum_1^{ne} \int_{\angle_1^*} \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{Bmatrix} d\angle \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

dan

$$b_1 = \frac{1}{R_E} N_i \left[\left(\frac{\partial u_j}{\partial n} \right)^{\angle^*} d\angle \right] \quad b_2 = 0 \quad b_3 = \frac{1}{R_E} N_i \left[\left(\frac{\partial v_j}{\partial n} \right)^{\angle^*} d\angle \right] \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

3. 5. PENYELESAIAN PERSAMAAN SISTEM.

3.5.1. Integrasi Numerik.

Suatu ekspresi persamaan integrasi diberikan sebagai berikut :

$$\iint_{\Omega} F(x,y) dx dy \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

atau dapat ditulis kembali dalam bentuk eksplisit sebagai :

$$\int_{x_a}^{x_b} \int_{y_a}^{y_b} F(x, y) dx dy \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

Untuk suatu elemen, persamaan ini dapat ditulis dalam koordinat natural sebagai :

$$\int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} F(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad \dots\dots\dots (3.29)$$

Persamaan diatas dapat diintegrasikan secara numerik menggunakan metode Gauss-Legendre quadrature sebagai berikut :

$$I = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} F(\xi, \eta) d\xi d\eta$$

$$I = \int_{-1}^{+1} \left(\int_{-1}^{+1} F(\xi, \eta) d\xi \right) d\eta \quad \text{atau}$$

$$I = \int_{-1}^{+1} \left(\sum_{i=1}^m a_i F(\xi_i, \eta) \right) d\eta \quad \text{atau}$$

$$I = \sum_{j=1}^m a_j \sum_{i=1}^m a_i F(\xi_i, \eta_j) \quad \text{atau}$$

$$I = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_j a_i F(\xi_i, \eta_j) \quad \text{atau} \quad \dots\dots\dots (3.30)$$

Dalam integrasi ini akan diambil tiga titik sampling ($m=3$) sebagai berikut :

Tabel 3.1 Titik sampling Gauss ($m=3$)

m	i	a_i	ξ_i
3	1	0.55556	-0.774596
	2	0.88889	0.0
	3	0.55556	0.774596

3.5.2. Transformasi koordinat.

Karena integrasi numerik dengan metode Gauss-Legendre quadrature menggunakan koordinat natural, maka diperlukan suatu transformasi dari koordinat global ke koordinat lokal.

Hal ini dapat dicapai dengan bantuan aturan rantai sehingga dicapai bentuk sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_i}{\partial \xi} &= \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} &= \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \eta}\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (3.31)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai :

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix}\quad \dots\dots\dots (3.32)$$

Invers dari persamaan diatas akan memberikan :

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix} = J^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix}\quad \dots\dots\dots (3.33)$$

dimana :

$$J^{-1} = \frac{1}{\text{Det } J} \begin{vmatrix} \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \xi} \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

$$\text{Det } J = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

dan

$$dx \, dy = \text{Det } J \, d\xi \, d\eta \quad \dots\dots\dots (3.36)$$

3.5.3. Proses Iterasi.

Persamaan (3.19) dapat diselesaikan dengan proses iterasi sebagai berikut :

- ♦ menentukan harga awal bagi u , v dan p
- ♦ proses iterasi akan memberikan harga baru $u_{(n+1)}$, $v_{(n+1)}$ dan $p_{(n+1)}$:

$$\begin{aligned} u_{(n+1)} &= \frac{u_{(n+1)} + u_n}{2} \\ v_{(n+1)} &= \frac{v_{(n+1)} + v_n}{2} \\ p_{(n+1)} &= \frac{p_{(n+1)} + p_n}{2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.37)$$

- ♦ evaluasi harga baru tiap-tiap node menurut toleransi yang telah ditetapkan :

$$\begin{aligned} u &\Rightarrow \frac{u_{(n+1)} - u_n}{u_{(n+1)}} \\ v &\Rightarrow \frac{v_{(n+1)} - v_n}{v_{(n+1)}} \\ p &\Rightarrow \frac{p_{(n+1)} - p_n}{p_{(n+1)}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.38)$$

3. 6. PROGRAM KOMPUTER.

Dalam sub-bab ini akan dikenalkan suatu program yang digunakan dalam perhitungan aliran fluida dalam pipa. Program ini merupakan hasil modifikasi pekerjaan Taylor & Hughes (1981) dan merupakan model numerik aliran fluida dalam pipa dengan metode elemen hingga Galerkin.

3.6.1. Program Utama dan Subroutine.

Pada bagian ini akan dijelaskan fungsi dari program utama dan masing-masing subroutine yang ada. Sedangkan struktur program, flowchart dan listing programnya dapat dilihat pada lampiran A.

1. Program Utama.

Program utama ini merupakan kontrol dari semua proses perhitungan yang ada, meliputi :

- a. pemberian harga dimensi maksimum melalui subroutine DIMENS.
- b. membaca dan memeriksa data input - subroutine DINPUT.
- c. menghitung shape function dan turunannya - subroutine DRIVES.
- d. merangkai persamaan matriks dan menyelesaikannya dengan proses iterasi - subroutine ITERAT.

2. Subroutine DIMENS.

Semua dimensi dinamis yang diperlukan oleh suatu array diberikan disini,

dimana semua dimensi yang ada harus sama atau lebih besar daripada yang diperlukan untuk penyelesaian problem.

3. Subroutine DINPUT.

Subroutine ini berfungsi membaca data dan memeriksa kemungkinan terjadi kesalahan. Data input yang diperlukan adalah data kontrol, sifat fisik fluida, data geometri, kondisi awal dan kondisi batas. Subroutine ini mempunyai dua subroutine luar lagi, yaitu : DIAGN1 dan DIAGN2. Bila terjadi kesalahan maka program akan dihentikan dan suatu pesan error akan terlihat.

4. Subroutine DIAGN1.

Subroutine ini berfungsi memeriksa kemungkinan kesalahan data kontrol. Bila terdeteksi adanya kesalahan, akan terlihat pesan error dan nomor dari error tersebut. Beberapa nomor error yang diberikan adalah :

- 1 - Jumlah node NPOIN, kurang atau sama dengan nol.
- 2 - Bila jumlah data yang ada, NRPON, kurang atau sama dengan nol atau lebih besar dari jumlah node NPOIN.
- 3 - Bila jumlah elemen NELEM, kurang atau sama dengan nol.
- 4 - Bila jumlah node NPOIN, lebih besar dari perkalian jumlah elemen dengan jumlah node per elemen.
- 5 - Bila jumlah kondisi batas yang diberikan NBCON, lebih besar dari jumlah derajat kebebasan yang mungkin.

- 6 - Bila jumlah kondisi awal yang ada, lebih besar dari $NPOIN \times 3$.
- 7 - Bila jumlah elemen yang memiliki gradien kondisi batas NEBCN, lebih besar dari jumlah elemen yang ada NELEM.
- 8 - Bila jumlah gradien kondisi batas NNBCN, lebih besar dari jumlah derajat kebebasan variabel.

5. Subroutine DIAGN2.

Bila DIAGN1 tidak menemukan kesalahan pada data kontrol, maka pemeriksaan data selanjutnya dilakukan oleh subroutine DIAGN2. Arti nomor pesan error yang ada adalah :

- 9 - Bila densitas fluida atau viskositasnya, kurang atau sama dengan nol.
- 10 - Bila terdapat dua node atau lebih dengan koordinat yang sama.
- 11 - Bila suatu nomor node muncul lebih dari satu kali pada satu elemen.
- 12 - Bila nomor node diluar batas yang diijinkan.
- 13 - Bila Jumlah kondisi awal yang diberikan melebihi jumlah total variabel.

4. Subroutine DRIVES.

Subroutine DRIVES menggunakan subroutine SHAPE4, DJACOB dan SHAPE8 untuk mengevaluasi shape function, Jacobian, inverse dari Jacobian dan luas elemen. Semua ini diperlukan untuk proses integrasi Gauss dan perhitungan turunan global dari shape function.

5. Subroutine SHAPE4.

Subroutine ini memuat shape function dan turunannya untuk elemen linier empat node dalam koordinat lokal.

6. Subroutine DJACOB.

Subroutine ini mengevaluasi matriks Jacobian dan inversnya untuk proses transformasi dari koordinat lokal ke global.

7. Subroutine SHAPE8.

Subroutine ini memuat shape function dan turunannya dalam koordinat lokal dari suatu elemen isoparametrik kuadrilateral delapan node.

8. Subroutine ITERAT.

Subroutine ini merupakan kontrol dari iterasi dalam proses penyelesaian persamaan sistem yang melibatkan subroutine luar : PRESCR, FRONTS, WRITER dan TOLREL.

9. Subroutine PRESCR.

Subroutine ini menggunakan SURFIN untuk mengevaluasi batas yang tegak lurus permukaan elemen IELEM, dimana gradien kecepatan normal dievaluasi dan dimasukkan pada lokasi yang sesuai.

10. Subroutine SURFIN.

Gradien kecepatan pada arah normal kondisi batas dievaluasi pada subroutine ini, sebagai berikut :

<u>ISIDE</u>	<u>COSLX</u>
1	$-\partial y / \partial \eta$ TEMPY
2	$-\partial y / \partial \zeta$ TEMPY
3	$\partial y / \partial \eta$ TEMPY
4	$\partial y / \partial \zeta$ TEMPY

<u>ISIDE</u>	<u>COSLY</u>
1	$\partial x / \partial \eta$ TEMPY
2	$\partial x / \partial \zeta$ TEMPY
3	$-\partial x / \partial \eta$ TEMPY
4	$-\partial x / \partial \zeta$ TEMPY

dimana :

<u>ISIDE</u>	<u>TEMPY</u>
1, 2	$\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta}\right)^2}$
3, 4	$\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \zeta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \zeta}\right)^2}$

11. Subroutine FRONTS.

Subroutine FRONTS merupakan subroutine untuk penyelesaian matriks dengan tipe frontal untuk matriks tidak simetris, dimana matriks yang diperlukan dibentuk dan dirangkai kembali sebelum penyelesaian diperoleh.

12. Subroutine MATRIX.

Matriks yang sesuai untuk tiap-tiap elemen dibentuk dalam subroutine ini dengan menggunakan shape function dan turunannya yang dihasilkan

oleh subroutine DRIVES.

13. Subroutine WRITER.

Subroutine ini merupakan alat untuk menuliskan output dari program, baik sebelum maupun sesudah output mencapai konvergensi.

14. Subroutine TOLREL.

Subroutine ini merupakan alat untuk memeriksa apakah toleransi yang ditentukan sudah dicapai.

3.6.2. Data Input.

Data ini memberikan informasi tentang model aliran fluida yang ingin diketahui, meliputi : dimensi dan geometri pipa, meshing, kondisi awal dan kondisi batas aliran fluida. Keterangan lanjut mengenai data input dapat dilihat pada lampiran B mengenai petunjuk pemakaian program.

Contoh kasus :

Suatu pipa berdiameter 0.4 m mengalirkan minyak bakar berat (*heavy fuel*) pada temperatur 21,1°C dengan $\frac{dp}{dx} = 10\text{N/m}$.

Dari keterangan diatas diperoleh :

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$\frac{dp}{dx} = 10\text{N/m}$$

Dari tabel 2 (lampiran pada Giles, 1993) untuk minyak bakar berat 21,1°C, diperoleh :

$$\rho = 908 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu = 146.10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt}$$

$$\begin{aligned} \mu = \rho \cdot \nu &= 908 \times 146.10^{-6} \\ &= 0.13257 \text{ N.dt/m}^2 \end{aligned}$$

Distribusi kecepatan aliran dalam pipa diberikan oleh persamaan Hagen-Poiseuille (2.17) sebagai berikut :

$$V = -\frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dx} (r_o^2 - r^2)$$

Dengan memasukkan harga-harga diatas, akan dihasilkan distribusi kecepatan sebagai berikut :

Tabel 3.2

Distribusi kecepatan aliran dalam pipa.

r (m)	V (m/dt)
0,00	0,7544
0,05	0,7072
0,10	0,5658
0,15	0,3300
0,20	0,0000

Karena distribusi kecepatannya berbentuk parabola, maka kecepatan rata-ratanya adalah setengah kecepatan maksimumnya.

$$V_{rata} = 0,7544/2$$

$$= 0.3772 \text{ m/dt}$$

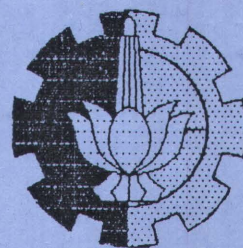
Untuk mengetahui apakah aliran ini sudah memenuhi persyaratan aliran laminar, kita perlu menghitung Reynold numbernya.

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{V.D}{\nu} \\ &= \frac{0,3772 \times 0,4}{146.10^{-6}} \\ &= 1033,42 \end{aligned}$$

Karena $\text{Re} < 2000$ maka aliran ini sudah memenuhi persyaratan aliran laminar.

Data Input.

Data input dari masing-masing kasus aliran dalam pipa dapat dilihat pada lampiran B.



BAB EMPAT

BAB IV

ANALISA DAN DISKUSI

Dalam bab ini akan dilakukan analisa hasil keluaran (output) dari program FLUIDA dengan input seperti yang diberikan pada bab 3 untuk pipa lurus, pipa ekspansi berangsur dan pipa belok. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan penyelesaian analitis, sehingga diperoleh tingkat ketelitian penyelesaian numerik metode elemen hingga Galerkin. Sedangkan output untuk tiap-tiap node secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C.

4. 1. ALIRAN DALAM PIPA LURUS.

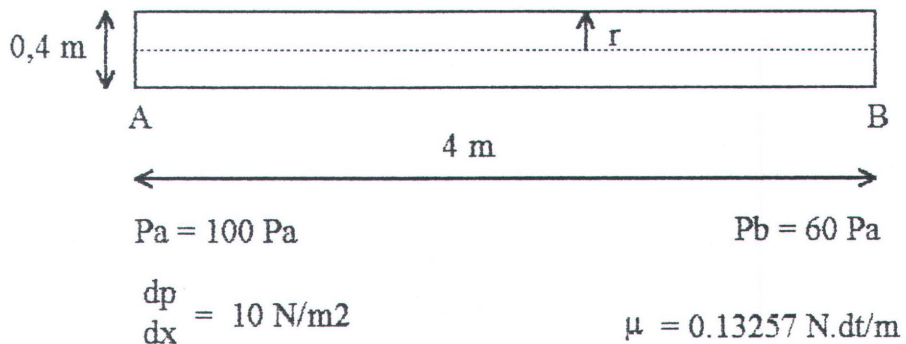
Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan analitis untuk mengetahui kecepatan pada tiap-tiap node pada beberapa stream line sebagai berikut (lihat gambar 3.1) :

- ♦ Stream line 1 pada $r = 0,0$ m meliputi node nomor : 53, 55, 57, 59, 61, 63, 65, 67 dan 69.
- ♦ Stream line 2 pada $r = 0,05$ m meliputi node nomor : 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 dan 52.
- ♦ Stream line 3 pada $r = 0,10$ m meliputi node nomor : 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41 dan 43.

- ♦ Stream line 4 pada $r = 0,15$ m meliputi node nomor : 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 dan 26.

Hasil perhitungan analitis ini, akan dijadikan pembanding bagi hasil numerik sehingga diketahui besarnya error hasil numerik.

1. Penyelesaian analitis.



- ♦ Head turun :

$$\begin{aligned} HL &= \frac{64 L V^2}{Re d 2g} \\ &= \frac{64}{1033,42} \frac{0,5}{0,4} \frac{0,3772^2}{2 \times 9,81} \\ &= 5,614 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

- ♦ Penerapan persamaan Bernoulli :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 - HL = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

a. Stream line 1.

$$\frac{100}{908 \times 9,81} + \frac{(0,754)^2}{2 \times 9,81} - 5,614 \cdot 10^{-3} = \frac{95}{908 \times 9,81} + \frac{V_{55}^2}{2 \times 9,81}$$

$$0,0112265 + 0,0289764 - 0,0005614 = 0,0106652 + (V_{55}^2/19,62)$$

$$0,0289763 = (V_{55}^2 / 19,62)$$

$$V_{55} = 0,7539990 \text{ m/dt}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh kecepatan untuk titik-titik selanjutnya adalah sebesar :

$$V_{57} = 0.7539981 \text{ m/dt}$$

$$V_{59} = 0.7539971 \text{ m/dt}$$

$$V_{61} = 0.7539961 \text{ m/dt}$$

$$V_{63} = 0.7539952 \text{ m/dt}$$

$$V_{65} = 0.7539942 \text{ m/dt}$$

$$V_{67} = 0.7539933 \text{ m/dt}$$

$$V_{69} = 0.7539923 \text{ m/dt}$$

b. Stream Line 2.

Kecepatan hasil perhitungan analitis untuk stream line dua adalah :

$$V_{44} = 0.707 \text{ m/dt}$$

$$V_{45} = 0.7069990 \text{ m/dt}$$

$$V_{46} = 0.7069979 \text{ m/dt}$$

$$V_{47} = 0.7069969 \text{ m/dt}$$

$$V_{47} = 0.7069959 \text{ m/dt}$$

$$V_{49} = 0.7069949 \text{ m/dt}$$

$$V_{50} = 0.7069938 \text{ m/dt}$$

$$V_{51} = 0.7069928 \text{ m/dt}$$

$$V_{52} = 0.7069918 \text{ m/dt}$$

c. Stream Line 3.

Kecepatan untuk tiap node pada stream line 3 adalah :

$$V_{27} = 0.566 \text{ m/dt}$$

$$V_{29} = 0.5659987 \text{ m/dt}$$

$$V_{31} = 0.5659974 \text{ m/dt}$$

$$V_{33} = 0.5659962 \text{ m/dt}$$

$$V_{35} = 0.5659949 \text{ m/dt}$$

$$V_{37} = 0.5659936 \text{ m/dt}$$

$$V_{39} = 0.5659923 \text{ m/dt}$$

$$V_{41} = 0.5659910 \text{ m/dt}$$

$$V_{43} = 0.5659897 \text{ m/dt}$$

d. Stream Line 4.

Kecepatan untuk tiap node pada stream line 4 adalah :

$$V_{18} = 0.330 \text{ m/dt}$$

$$V_{19} = 0.3299978 \text{ m/dt}$$

$$V_{20} = 0.3299956 \text{ m/dt}$$

$$V_{21} = 0.3299934 \text{ m/dt}$$

$$V_{22} = 0.3299912 \text{ m/dt}$$

$$V_{23} = 0.3299890 \text{ m/dt}$$

$$V_{24} = 0.3299868 \text{ m/dt}$$

$$V_{25} = 0.3299846 \text{ m/dt}$$

$$V_{26} = 0.3299824 \text{ m/dt}$$

2. Perbandingan dengan penyelesaian numerik.

Perbandingan hasil perhitungan analitis dengan hasil numerik untuk tiap node dan besarnya error dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa lurus.

Node	Kecepatan (m/dt)		Error (%)
	Analitis	Galerkin	
Stream line 1			
53	0,7540000	0,754	0,000
55	0,7539990	0,749	0,663
57	0.7539981	0,749	0,663
59	0.7539971	0,749	0,663
61	0.7539961	0,749	0,663
63	0.7539952	0,749	0,656
65	0.7539942	0,749	0.655
67	0.7539933	0,749	0,654
69	0.7539923	0,749	0.652
Stream line 2			
44	0,7070000	0,707	0,000
45	0,7069990	0,703	0,565
46	0,7069979	0,702	0,707
47	0,7069969	0,702	0,707
48	0,7069959	0,702	0,707
49	0,7069949	0,702	0,706
50	0,7069938	0,702	0,706
51	0,7069928	0,702	0,706
52	0,7069918	0,702	0,706
Stream line 3			
27	0,5660000	0,566	0,000
29	0,5659987	0,562	0,706
31	0,5659974	0,562	0,706
33	0,5659962	0,562	0,706
35	0,5659949	0,562	0,706
37	0,5659936	0,562	0,706
39	0,5659923	0,562	0,705
41	0,5659910	0,562	0,705
43	0,5659897	0,562	0,705

Tabel 4.1 Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa lurus (lanjutan).

Node	Kecepatan (m/dt)		Error (%)
	Analitis	Galerkin	
Stream line 4			
18	0,3300000	0,330	0,000
19	0,3299978	0,328	0,605
20	0,3299956	0,328	0,605
21	0,3299934	0,328	0,604
22	0,3299912	0,328	0,603
23	0,3299890	0,328	0,603
24	0,3299868	0,328	0,602
25	0,3299846	0,328	0,601
26	0,3299824	0,328	0,600

Dimana :

$$\text{Error (\%)} = \frac{V_{\text{analitis}} - V_{\text{numerik}}}{V_{\text{analitis}}} \times 100\%$$

Dari tabel 4.1 diatas diperoleh rata-rata error adalah sebesar 0,59%. Error ini menunjukkan bahwa penyelesaian model ini sudah cukup baik untuk aliran dalam pipa lurus.

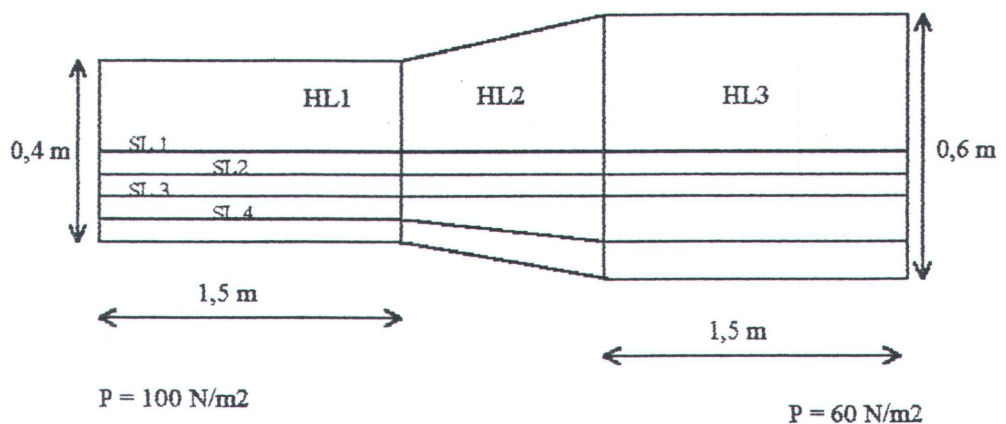
Grafik perbandingan penyelesaian numerik dan analitis dapat dilihat pada gambar 4.1 di akhir bab ini. Grafik ini menunjukkan bahwa hasil analitis menurun secara perlahan, sedangkan hasil numerik menurun antara node pertama dan kedua, setelah itu menjadi konstan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bilangan yang dibulatkan pada hasil numerik.

Sedangkan aliran dalam pipa lurus hasil penyelesaian numerik dapat dilihat pada gambar 4.4 di akhir bab ini.

4.2. ALIRAN DALAM PIPA EKSPANSI BERANGSUR.

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan analitis pada tiap node sesuai dengan gambar 3.2 . Hasil perhitungan ini akan digunakan sebagai pembandingan hasil numerik sehingga diketahui prosentase error bila model ini digunakan untuk aliran dalam pipa ekspansi berangsur.

1. Penyelesaian analitis.



♦ Head turun :

HL1 merupakan penurunan head karena gesekan sepanjang pipa berdiameter 0,4 m.

$$HL1 = \frac{64}{1033,42} \frac{0,5 (0,3772)^2}{0,4 \cdot 2 \times 9,81} = 0,0005614 \text{ m}$$

HL 2 merupakan penurunan head karena ekspansi pipa, dan dinyatakan sebagai :

$$HL2 = K \frac{(V1^2 - V2^2)}{2g}$$

Dari Gambar 8.20 (Daugherty dkk, 1989), untuk sudut kerucut $11,42^\circ$ diperoleh $k = 0,18$. Sedangkan V_2 dapat dihitung menggunakan persamaan kontinuitas sebagai :

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot A_1}{A_2} = \frac{0,3772 \cdot \pi \cdot (0,4)^2}{3,14 \cdot (0,6)^2} = 0,16764 \text{ m/dt}$$

Sehingga :

$$HL_2 = 0,18 \frac{(0,3772^2 - 0,16764^2)}{19,62} = 0,0010475 \text{ m}$$

HL_3 merupakan penurunan head karena gesekan sepanjang pipa berdiameter 0,6 m.

$$HL_3 = \frac{64}{1033,42} \frac{0,5 (0,16764)^2}{0,6 \cdot 19,62} = 0,0000739 \text{ m}$$

♦ Penerapan persamaan Bernoulli :

a. Stream line 1.

$$\frac{100}{908 \times 9,81} + \frac{0,754^2}{19,62} - 0,0005614 = \frac{95}{908 \times 9,81} + \frac{V_{55}^2}{19,62}$$

$$0,0112265 + 0,0289764 - 0,0005614 - 0,0106652 = V_{55}^2 / 19,62$$

$$0,0289763 = V_{55}^2 / 19,62$$

$$V_{55} = 0,7539990 \text{ m/dt}$$

Dengan cara yang sama, kecepatan untuk dua node berikutnya adalah :

$$V_{57} = 0,7539981 \text{ m/dt}$$

$$V_{59} = 0,7539971 \text{ m/dt}$$

Perhitungan kecepatan untuk node 63 karena terjadinya ekspansi adalah :

$$\frac{85}{908 \times 9,81} + \frac{0,3351^2}{19,62} - 0,0010475 = \frac{75}{908 \times 9,81} + \frac{V_{63}^2}{19,62}$$

$$0,0095425 + 0,0057233 - 0,0010475 = 0,0084199 + V_{63}^2/19,62$$

$$0,0057985 = V_{63}^2/19,62$$

$$V_{63} = 0,3372929 \text{ m/dt}$$

Sedangkan kecepatan untuk tiga node setelah terjadi ekspansi adalah sebagai berikut :

$$\frac{75}{908 \times 9,81} + \frac{0,3373^2}{19,62} - 0,0000739 = \frac{70}{908 \times 9,81} + \frac{V_{65}^2}{19,62}$$

$$0,0084199 + 0,0057985 - 0,0000739 - 0,0078586 = V_{65}^2/19,62$$

$$0,0062859 = V_{65}^2/19,62$$

$$V_{65} = 0,3511834 \text{ m/dt}$$

dan

$$V_{67} = 0,364545 \text{ m/dt}$$

$$V_{69} = 0,377434 \text{ m/dt}$$

Perhitungan kecepatan untuk ketiga stream line lainnya adalah sama dengan stream line satu. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

b. Stream line 2.

$$V_{44} = 0,707 \text{ m/dt} \quad V_{49} = 0,3165 \text{ m/dt}$$

$$V_{45} = 0,7069 \text{ m/dt} \quad V_{50} = 0,3313 \text{ m/dt}$$

$$V_{46} = 0,7069 \text{ m/dt} \quad V_{51} = 0,3454 \text{ m/dt}$$

$$V_{47} = 0,7069 \text{ m/dt} \quad V_{52} = 0,3590 \text{ m/dt}$$

c. Stream line 3.

$$V_{27} = 0,566 \text{ m/dt} \quad V_{37} = 0,2544 \text{ m/dt}$$

$$V_{29} = 0,5659 \text{ m/dt} \quad V_{39} = 0,2726 \text{ m/dt}$$

$$V_{31} = 0,5659 \text{ m/dt} \quad V_{41} = 0,2896 \text{ m/dt}$$

$$V_{33} = 0,5659 \text{ m/dt} \quad V_{43} = 0,3057 \text{ m/dt}$$

d. Stream line 4.

$$V_{18} = 0,3300 \text{ m/dt} \quad V_{23} = 0,1616 \text{ m/dt}$$

$$V_{19} = 0,3299 \text{ m/dt} \quad V_{24} = 0,1804 \text{ m/dt}$$

$$V_{20} = 0,3299 \text{ m/dt} \quad V_{25} = 0,1910 \text{ m/dt}$$

$$V_{21} = 0,3299 \text{ m/dt} \quad V_{26} = 0,2055 \text{ m/dt}$$

2. Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik.

Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk aliran dalam pipa ekspansi berangsur dapat dilihat pada tabel 4.2 .

Dari tabel ini diperoleh rata-rata error adalah sebesar 31,97%. Error ini cukup besar dibandingkan dengan error pada aliran dalam pipa lurus, sehingga perlu pertimbangan lagi bila model ini akan digunakan untuk aliran dalam pipa ekspansi berangsur.

Grafik yang menunjukkan perbandingan antara penyelesaian analitis dan numerik dapat dilihat pada gambar 4.2 di akhir bab ini. Dari grafik tersebut terlihat bahwa selisih antara hasil analitis dengan hasil numerik cukup besar pada awal pipa sebelum mengalami ekspansi. Sedangkan

setelah mengalami ekspansi, selisih hasil analitis dan numerik relatif kecil. Hal ini mungkin disebabkan lambatnya proses konvergensi, sehingga perbaikan meshing (perapatan) pada awal pipa sebelum terjadi ekspansi diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Tabel 4.2 Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa ekspansi berangsur.

Node	Kecepatan (m/dt)		Error (%)
	Analitis	Galerkin	
Stream line 1			
53	0,7540	0,754	0,00
55	0,7539	0,182	75,86
57	0,7539	0,153	79,08
59	0,7539	0,163	78,38
63	0,3373	0,311	7,79
65	0,3512	0,339	3,46
67	0,3645	0,343	5,91
69	0,3774	0,343	9,12
Stream line 2			
44	0,707	0,707	0,00
45	0,7069	0,166	76,52
46	0,7069	0,145	79,49
47	0,7069	0,152	78,50
49	0,3165	0,302	4,59
50	0,3313	0,330	0,39
51	0,3454	0,333	3,59
52	0,3590	0,334	6,96
Stream line 3			
27	0,5660	0,566	0,00
29	0,5659	0,140	75,26
31	0,5659	0,115	79,68
33	0,5659	0,123	78,26
37	0,2544	0,276	8,46
39	0,2726	0,301	10,41
41	0,2896	0,305	5,30
43	0,3057	0,305	0,22

Tabel 4.2 *Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa ekspansi berangsur (lanjutan).*

Node	Kecepatan (m/dt)		Error (%)
	Analitis	Galerkin	
Stream line 4			
18	0,3300	0,3300	0,00
19	0,3299	0,0718	78,24
20	0,3299	0,0693	78,99
21	0,3299	0,0707	78,57
23	0,1616	0,1730	7,02
24	0,1804	0,1890	4,74
25	0,1910	0,1900	0,56
26	0,2055	0,1910	7,08

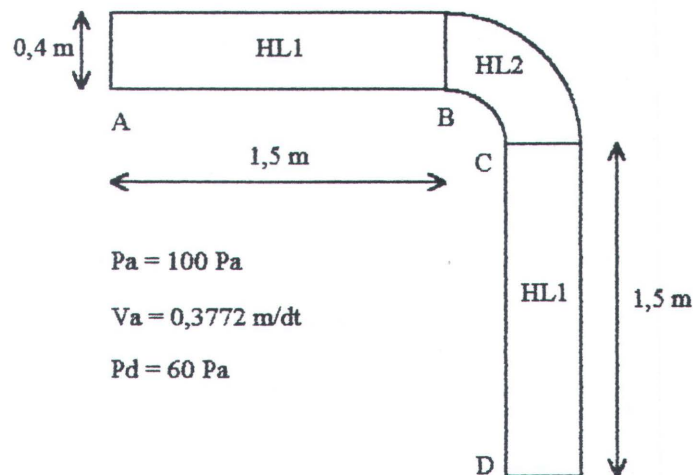
4. 3. ALIRAN DALAM PIPA BELOK.

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan analitis kecepatan aliran dalam pipa belok, pada :

- ♦ Stream line 1 dengan nomor node : 5, 19, 33, 47, 75, 89, 103 dan 117.
- ♦ Stream line 2 dengan nomor node : 6, 20, 34, 48, 76, 90, 104 dan 118.
- ♦ Stream line 3 dengan nomor node : 7, 21, 35, 49, 77, 91, 105 dan 119.
- ♦ Stream line 4 dengan nomor node : 8, 22, 36, 50, 78, 92, 106 dan 120.

Hasil perhitungan ini akan dijadikan sebagai pembanding hasil penyelesaian numerik untuk mengetahui besarnya error. Sehingga dapat diketahui ketelitian dari model ini bila digunakan untuk perhitungan aliran dalam pipa belok.

1. Penyelesaian Analitis.



♦ Head Turun :

HL1 merupakan penurunan head karena gesekan pada pipa, sebelum dan sesudah mengalami belokan.

$$HL1 = \frac{64}{1033,42} \frac{0,5}{0,4} \frac{0,3772^2}{19,62} = 0,0005614 \text{ m}$$

HL2 merupakan penurunan head karena pengaruh belokan,

$$HL2 = k \frac{v^2}{2g}$$

Dimana $k = 0,5 - 0,75$ untuk belokan 90° [Giles, 1993].

Sehingga :

$$HL21 = 0,5 \frac{0,3772^2}{19,62} = 0,003626 \text{ m} \quad (\text{batas atas})$$

$$HL22 = 0,75 \frac{0,3772^2}{19,62} = 0,005434 \text{ m} \quad (\text{batas bawah})$$

♦ Penerapan persamaan Bernoulli :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - HL = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

a. Stream line 1.

Sebelum mengalami belokan, head loss disebabkan karena gesekan, sehingga perhitungan kecepatan untuk node kedua adalah :

$$\frac{100}{908 \times 9,81} + \frac{0,754^2}{19,62} - 0,0005614 = \frac{95}{908 \times 9,91} + \frac{V_{19}^2}{19,62}$$

$$0,0112265 + 0,0289764 - 0,0005614 = 0,0106652 + V_{19}^2/19,62$$

$$0,0289763 = V_{19}^2/19,62$$

$$V_{19} = 0,7539990 \text{ m/dt}$$

kecepatan dua node berikutnya adalah :

$$V_{33} = 0,7539981 \text{ m/dt}$$

$$V_{47} = 0,7539971 \text{ m/dt}$$

Perhitungan kecepatan untuk node 75 dengan head loss karena belokan adalah :

Batas atas.

Batas atas menggunakan $k = 0,5$ sebagai koefisien belokan dan head loss sebesar $0,003626 \text{ m (HL21)}$.

$$\frac{85}{908 \times 9,81} + \frac{0,75399^2}{19,62} - 0,003626 = \frac{75}{908 \times 9,91} + \frac{V_{75}^2}{19,62}$$

$$0,0095425 + 0,0289761 - 0,003626 = 0,0084199 + V_{75}^2/19,62$$

$$0,0264729 = V_{75}^2/19,62$$

$$V_{75} = 0,7206927 \text{ m/dt}$$

Batas bawah :

Batas bawah diperoleh dengan mengganti HL21 dengan HL22 sebesar 0,005434 m, sehingga diperoleh $V_{75} = 0,6956471 \text{ m/dt}$

Setelah mengalami belokan, perhitungan kecepatan dilanjutkan lagi dengan menggunakan HL1. Kecepatan untuk tiga node terakhir adalah :

Batas atas.

$$V_{89} = 0,7206917 \text{ m/dt}$$

$$V_{103} = 0,7206907 \text{ m/dt}$$

$$V_{117} = 0,7206896 \text{ m/dt}$$

Batas bawah.

$$V_{89} = 0,6956461 \text{ m/dt}$$

$$V_{103} = 0,6956451 \text{ m/dt}$$

$$V_{117} = 0,6956440 \text{ m/dt}$$

2. Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik.

Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik berikut besarnya error dapat dilihat pada tabel 4.3.

Dari tabel tersebut diperoleh rata-rata error hasil numerik dibandingkan dengan analitis 1 (batas atas) adalah sebesar 26,51% , sedangkan untuk analitis 2 (batas bawah) sebesar 30,12%. Sehingga nampaknya hasil numerik lebih dekat pada hasil analitis 1 (batas atas).

Dari grafik perbandingan hasil analitis dan numerik untuk pipa belok (gambar 4.3), terlihat bahwa selisih hasil numerik dan analitis cukup besar pada bagian awal, kemudian hasil analitis secara perlahan mendekati hasil numerik. Sedangkan pada dua node terakhir, selisih hasil analitis dan numerik menjadi relatif kecil.

Untuk memperkecil error, perlu perbaiki mesh (lebih rapat) pada bagian awal pipa sebelum mengalami belokan. Hal ini dilakukan dengan tujuan memberikan kesempatan pada aliran untuk mencapai stabilitas konvergensi sebelum mengalami belokan.

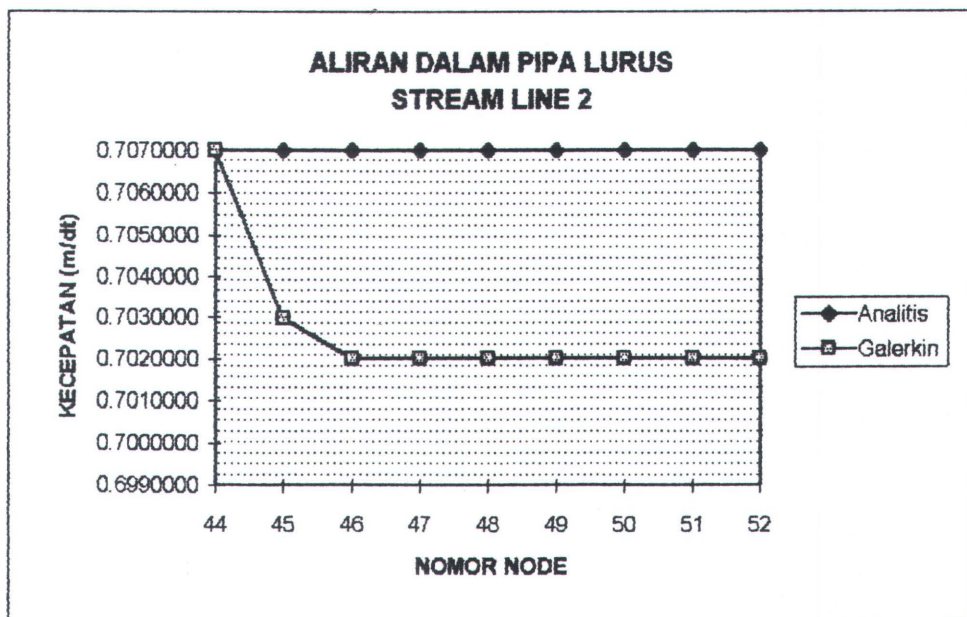
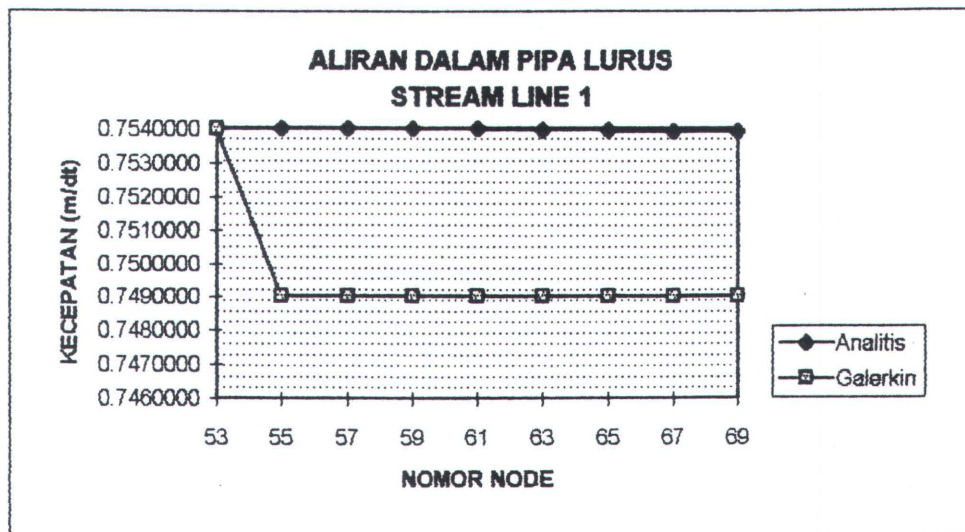
Tabel 4.3 Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa belok.

Node	Kecepatan (m/dt)			Error 1 (%)	Error 2 (%)
	Analitis 1	Analitis 2	Galerkin		
Stream line 1					
5	0,7540	0,7540	0,754	0,000	0,000
19	0,7539	0,7539	0,359	52,38	52,38
33	0,7539	0,7539	0,341	54,77	54,77
47	0,7539	0,7539	0,366	51,46	51,46
75	0,7207	0,6956	0,496	31,17	28,69
89	0,7207	0,6956	0,542	24,79	22,08
103	0,7207	0,6956	0,681	5,510	2,105
117	0,7207	0,6956	0,714	0,928	2,638
Stream line 2					
6	0,707	0,7070	0,707	0,000	0,000
20	0,7069	0,7069	0,347	50,91	50,91
34	0,7069	0,7069	0,337	52,33	52,33
48	0,7069	0,7069	0,377	46,67	46,67
76	0,6736	0,6444	0,469	30,14	27,21
90	0,6736	0,6444	0,478	28,80	25,82
104	0,6736	0,6444	0,573	14,65	11,08
118	0,6736	0,6444	0,595	11,37	7,666
Stream line 3					
7	0,5660	0,5660	0,566	0,000	0,000
21	0,5659	0,5659	0,291	48,58	48,58
35	0,5659	0,5659	0,282	50,17	50,17
49	0,5659	0,5659	0,344	39,22	39,22
77	0,5208	0,4856	0,377	27,61	22,35
91	0,5208	0,4856	0,371	28,76	23,59
105	0,5208	0,4856	0,428	17,81	11,8
119	0,5208	0,4856	0,439	15,70	9,58

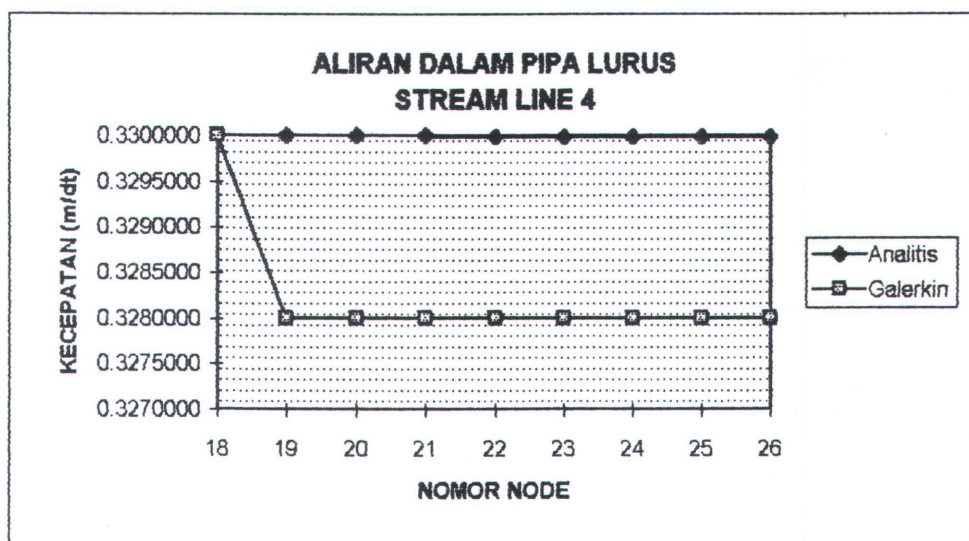
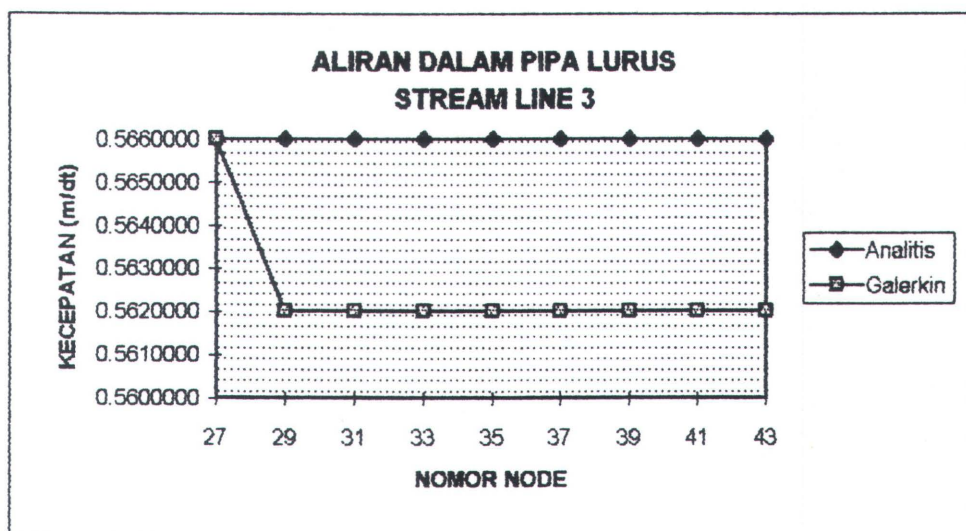
Tabel 4.3 Perbandingan penyelesaian analitis dan numerik untuk pipa belok (lanjutan).

Node	Kecepatan (m/dt)			Error 1	Error 2
	Analitis 1	Analitis 2	Galerkin	(%)	(%)
Stream line 4					
8	0,3300	0,3300	0,330	0,000	0,000
22	0,3299	0,3299	0,169	48,78	48,78
36	0,3299	0,3299	0,170	48,48	48,48
50	0,3299	0,3299	0,197	40,30	40,30
78	0,2445	0,1559	0,221	9,612	41,74
92	0,2445	0,1559	0,210	14,11	34,69
106	0,2449	0,1559	0,238	2,657	52,65
120	0,2449	0,1558	0,243	0,611	55,86

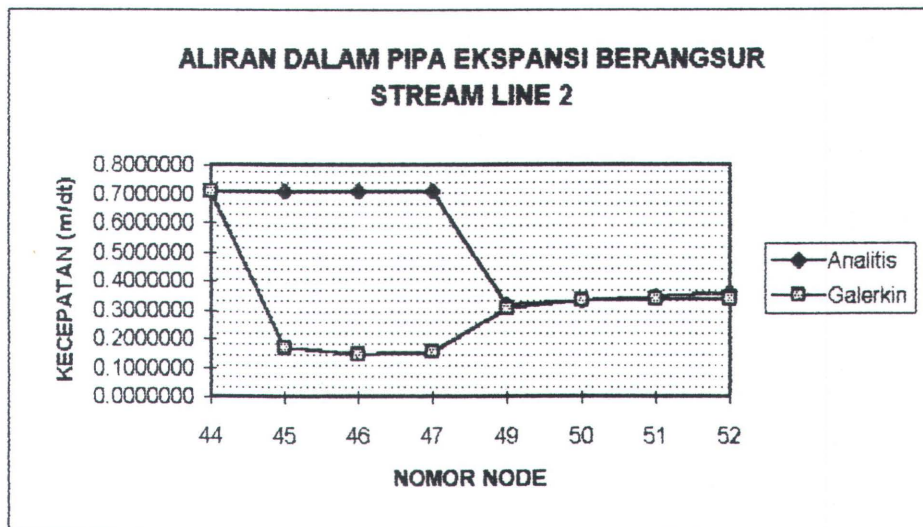
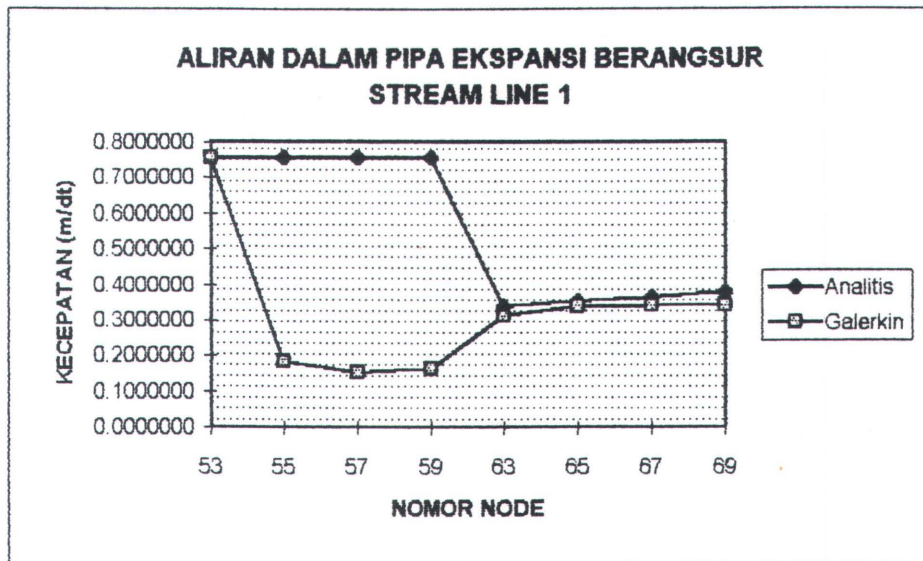




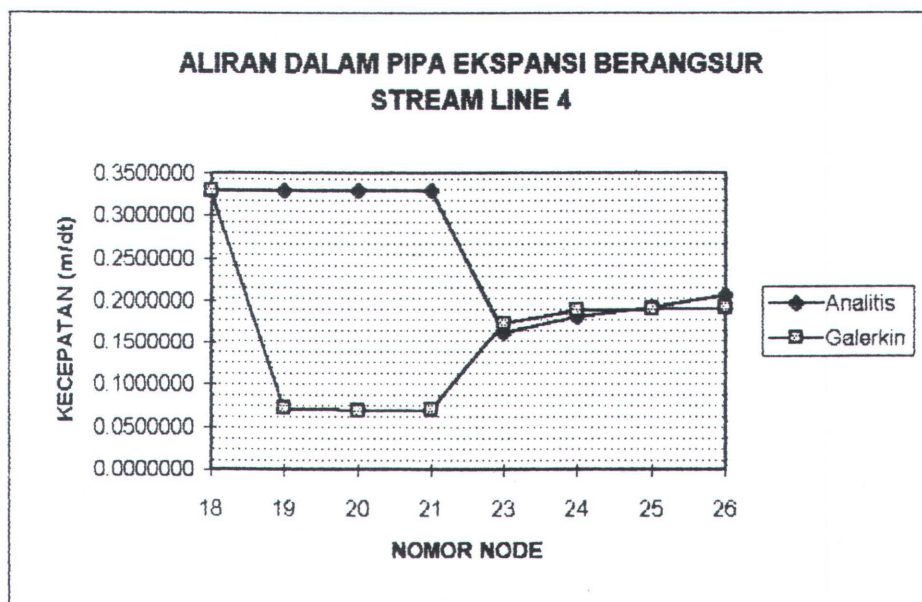
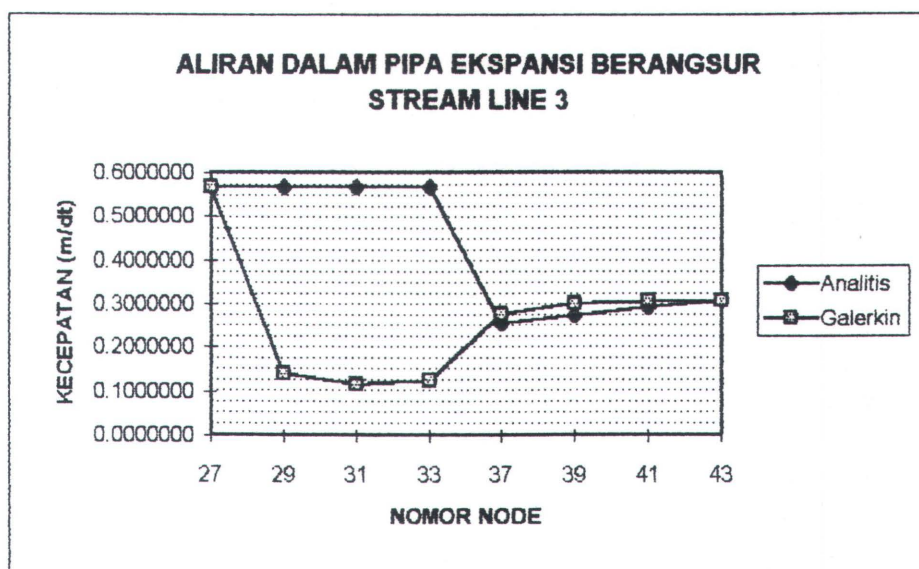
Gambar 4.1
Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan
Galerkin untuk pipa lurus.



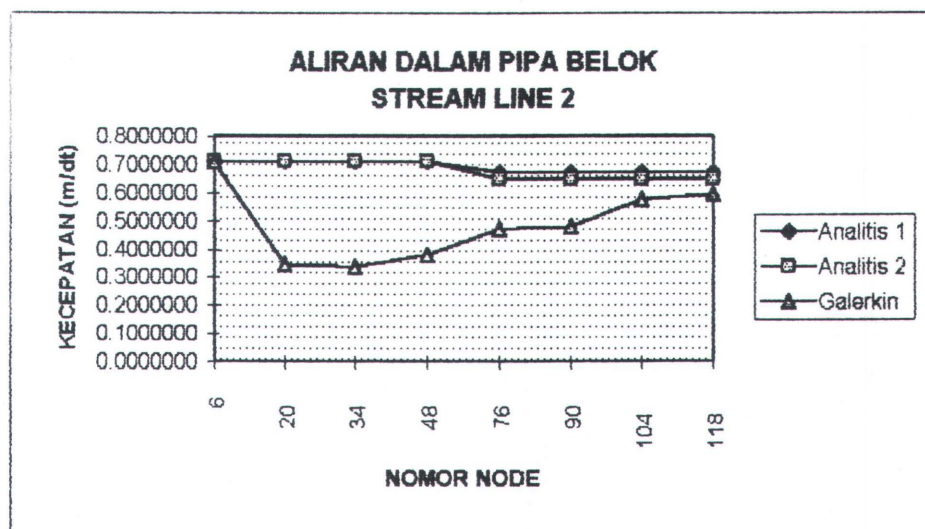
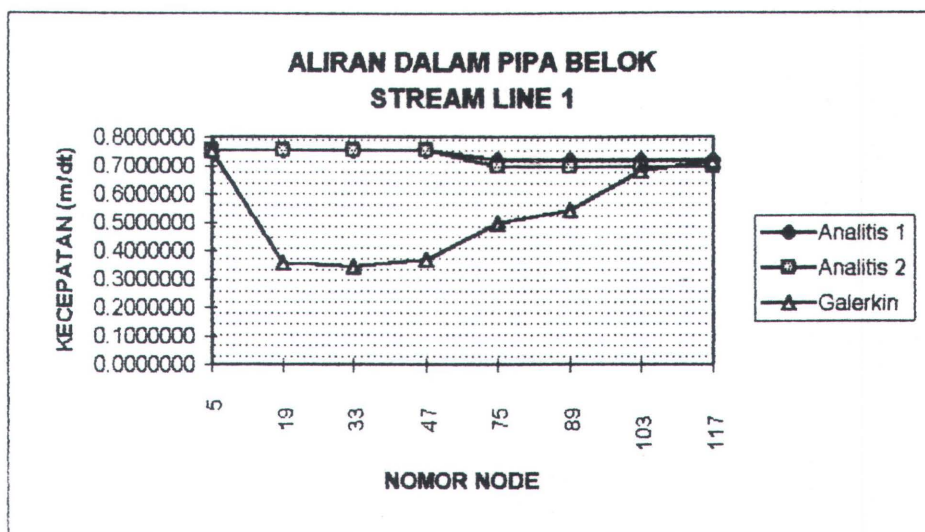
Gambar 4.1
 Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan
 Galerkin untuk pipa lurus (lanjutan).



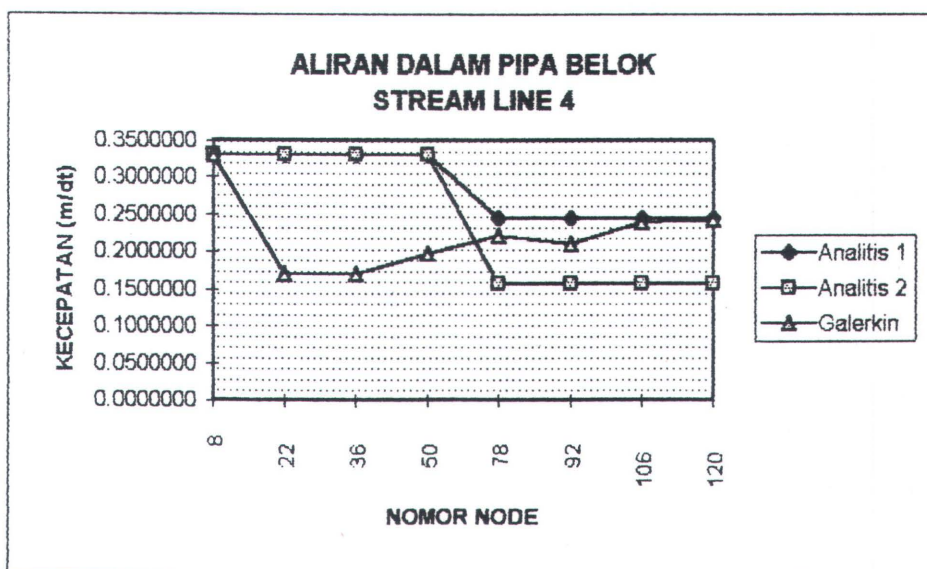
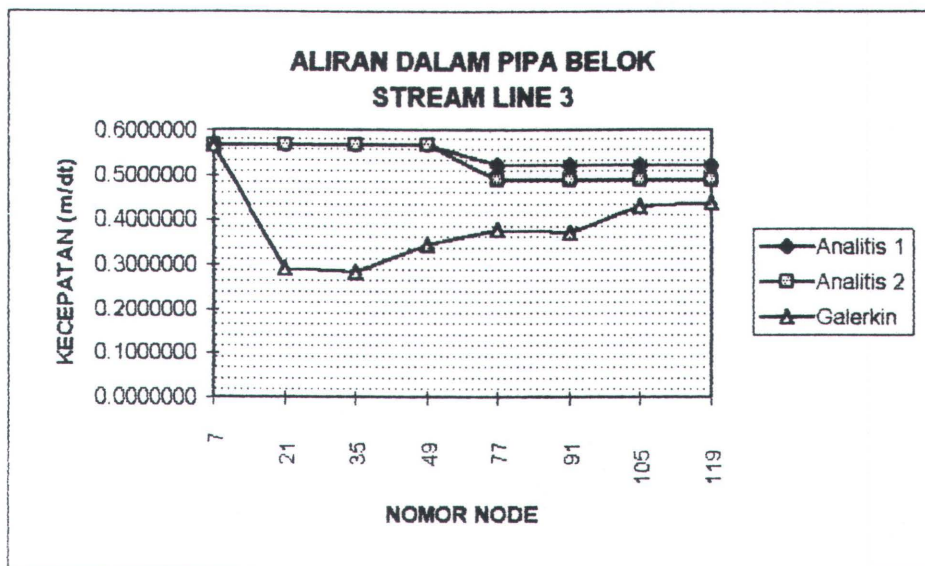
Gambar 4.2
Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan Galerkin untuk pipa ekspansi berangsur.



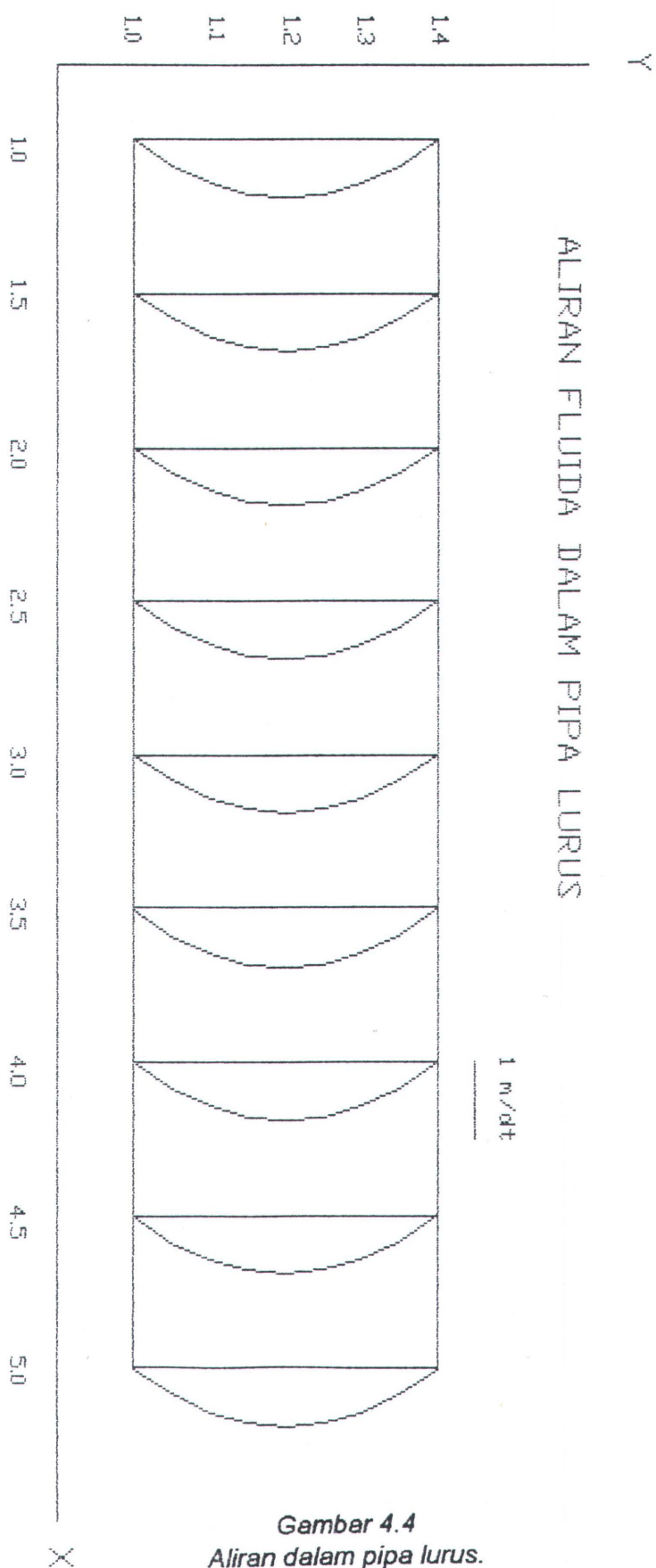
Gambar 4.2
Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan
Galerkin untuk pipa ekspansi berangsur (lanjutan).



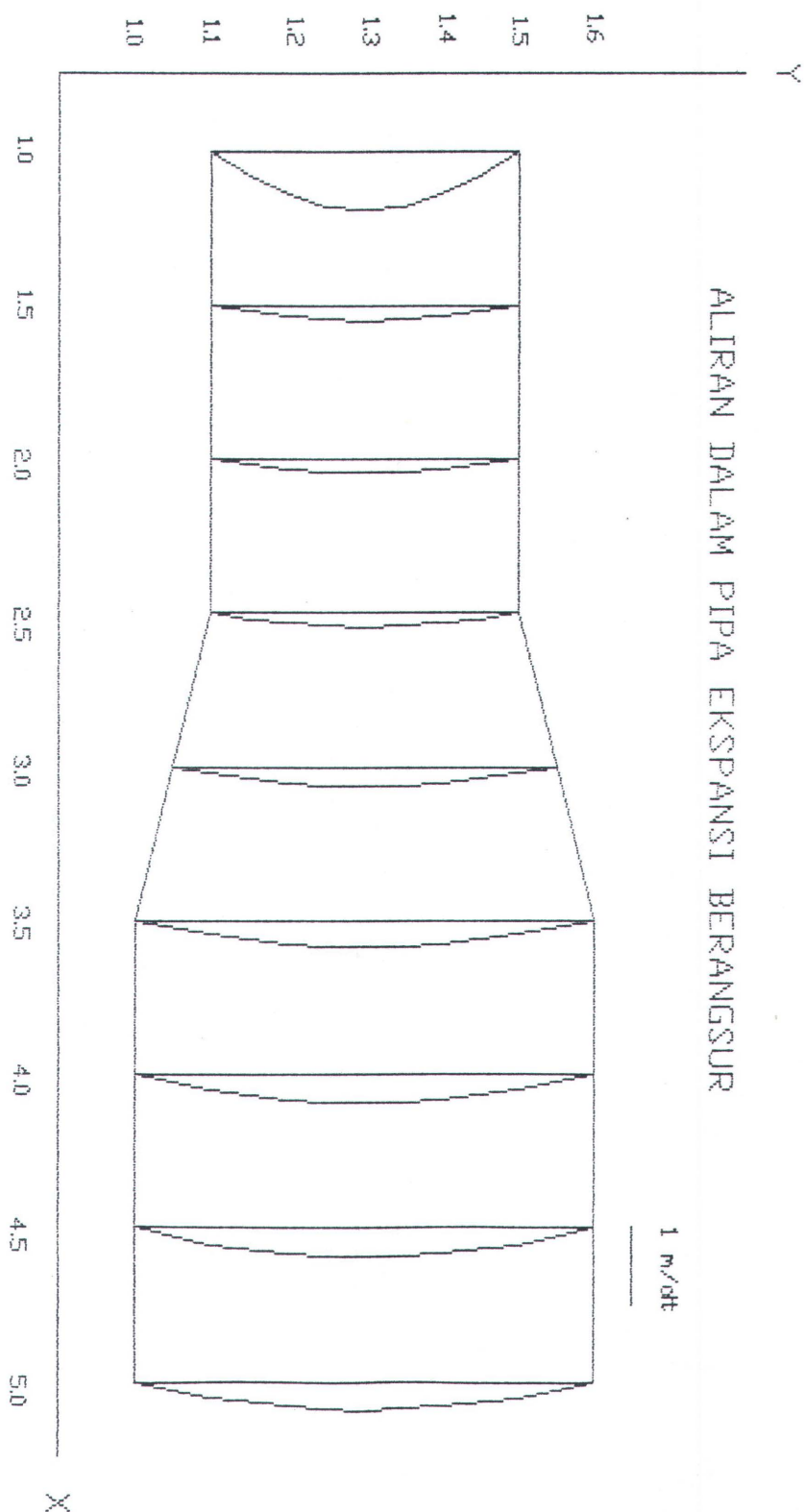
Gambar 4.3
Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan
Galerkin untuk pipa belok.



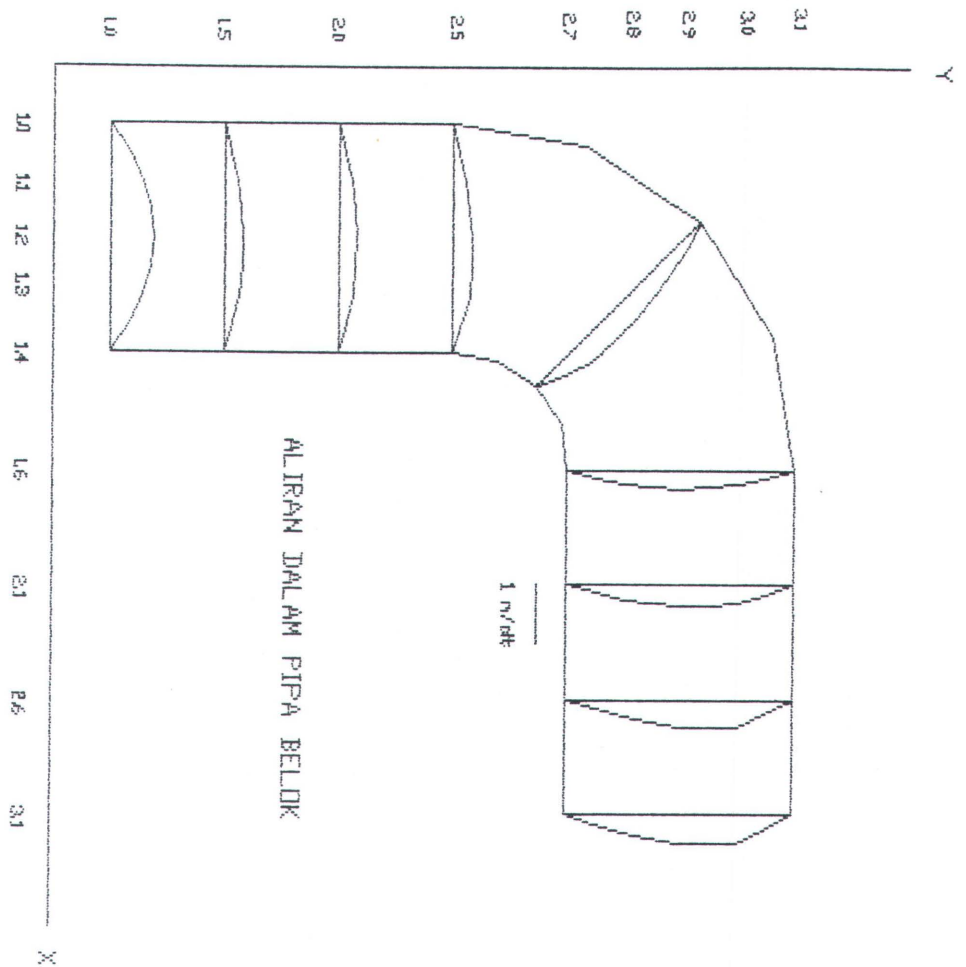
Gambar 4.3
Grafik perbandingan penyelesaian analitis dan
Galerkin untuk pipa belok (lanjutan).



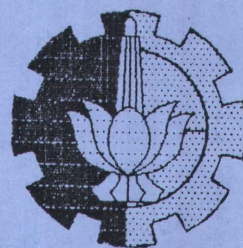
Gambar 4.4
Aliran dalam pipa lurus.



Gambar 4.5
Aliran dalam pipa ekspansi berangsur.



Gambar 4.6
Aliran dalam pipa belok.



BAB LIMA

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN.

Secara umum langkah-langkah pemodelan aliran fluida dalam pipa dengan metode elemen hingga Galerkin adalah sebagai berikut :

1. Diskritisasi dan pemilihan elemen.
2. Pemilihan fungsi pendekatan.
3. Formulasi persamaan elemen.
4. Perakitan persamaan sistem.
5. Modifikasi persamaan sistem sesuai kondisi batas.
6. Penyelesaian persamaan sistem.
7. Interpretasi hasil.

Dari hasil analisa aplikasi metode elemen hingga Galerkin untuk aliran fluida dalam pipa, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Aliran dalam pipa lurus.

Perbandingan antara hasil analitis dan numerik pada tabel 4.1 untuk pipa lurus, memberikan error sebesar :

Tabel 5.1 Error untuk tiap stream line pada pipa lurus.

Stream line	Error (%)
1	0,585
2	0,612
3	0,627
4	0,536
Error rata2	0,590

Dari tabel diatas, ketelitian untuk pipa lurus adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Ketelitian} &= 100\% - \text{Error}_{\text{rata2}} \\
 &= 100\% - 0,59\% \\
 &= 99,41\%
 \end{aligned}$$

Dengan ketelitian tersebut, model ini sudah mendekati penyelesaian analitis.

2. Aliran dalam pipa ekspansi berangsur.

Perbandingan antara hasil analitis dan numerik pada tabel 4.2 untuk pipa ekspansi berangsur, memberikan error sebesar 31,97%.

Dari error diatas, diperoleh ketelitian untuk pipa ini adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Ketelitian} &= 100\% - \text{Error}_{\text{rata2}} \\
 &= 100\% - 31,97\% \\
 &= 68,03\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.2. Error pada tiap stream line untuk pipa ekspansi berangsur.

Stream line	Error (%)
1	32,45
2	31,25
3	32,20
4	31,90
Error rata2	31,97

Dengan ketelitian tersebut, model ini masih cukup jauh dari penyelesaian analitis sehingga perlu perbaikan.

3. Aliran dalam pipa belok.

Perbandingan antara hasil analitis dan numerik pada tabel 4.3 untuk pipa belok, memberikan error sebesar :

Tabel 5.3 Error untuk tiap stream line pada pipa belok.

Stream line	Error (%)	Error (%)
1	27,62	26,76
2	29,36	27,71
3	28,48	25,66
4	20,56	40,31
Error rata2	26,51	30,12

Dari tabel diatas, ketelitian untuk pipa belok adalah :

$$\text{Ketelitian 1} = 100\% - 26,51$$

$$= 73,49\%$$

$$\text{Ketelitian 2} = 100\% - 30,12\%$$

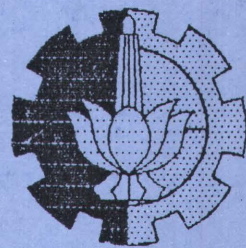
$$= 69,88\%$$

Dengan ketelitian tersebut, model ini masih cukup jauh dari penyelesaian analitis, sehingga perlu perbaikan sebelum digunakan lebih lanjut.

5.2. SARAN.

Untuk perbaikan dan peningkatan hasil penelitian selanjutnya mengenai pemodelan aliran fluida dalam pipa, diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Memperbanyak kasus aliran dalam pipa seperti pada pipa ekspansi langsung (*sudden expansion*), pipa mengecil berangsur (*gradual contraction*), pipa mengecil langsung (*sudden contraction*) dan pipa belok pada berbagai sudut.
2. Menambah routine untuk spesifikasi aliran fluida lainnya, seperti aliran turbulen dan aliran tak mantap (*unsteady*).
3. Menggunakan metode residu berbobot lainnya, seperti metode kolokasi dan metode kuadrat terkecil sebagai perbandingan bagi metode Galerkin.

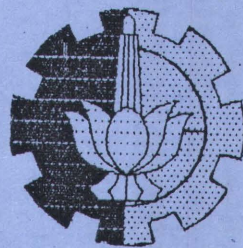


DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, M.B.; Herrera, I & Pinder, G.F. (1988), *Numerical Modeling in Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Canada.
- Cook, R.D.; Malkus, D.S. & Plesha, M.E. (1989), *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, Canada.
- Daugherty, R. L. ; Frazini, J. B. & Finnemore, E. J. (1989), *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, McGraw Hill Book Co, Singapore.
- Desai, C.S. (1988), *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*, terjemahan S. D. Wirjosoedirdjo, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Giles, R.V. (1993), *Mekanika Fluida dan Hidrolika*, terjemahan H.W. Soemitro, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hosseini-pour, Z. (1983), " A Comparative Two-Dimensional Mathematical Modeling of Free Surface Flow with Special Application to Wide River ", *PhD Thesis*, Departement of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh.
- Jinsi, B.K. (1992), *Natural Gas Transmission : Challenges and Opportunities*, East Java gas Pipeline Project, Singapore.
- Reddy, J.N. (1984), *An Introduction to Finite Element Method*, McGraw Hill Book Co, New York.

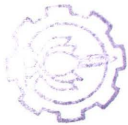
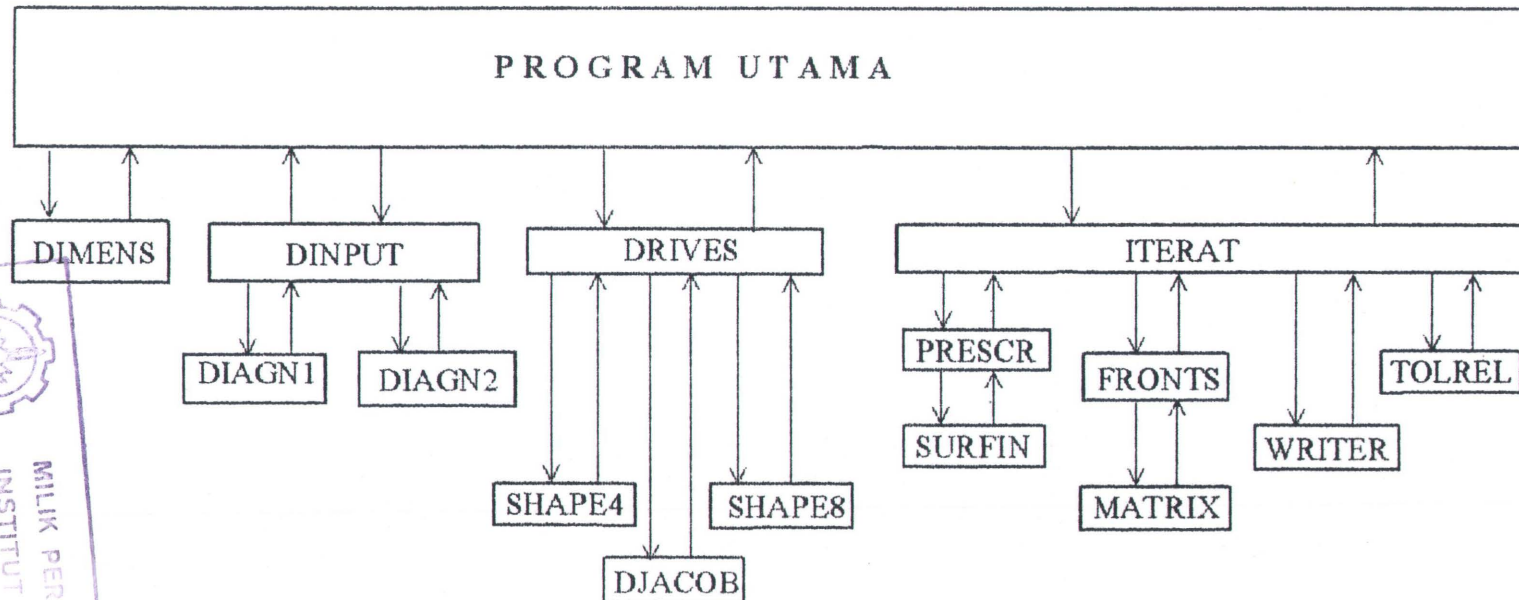
- Setiawan, L. (1995), "Problema Korosi di Dalam Pipa Saluran Bawah Laut di Lapangan Maxus", *Tugas Akhir*, P.S. Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya.
- Smith, G.D. (1985), *Numerical Solution of Partial Differential Equations : Finite Difference Methods*, Oxford University Press, Oxford.
- Taylor, C. & Hughes, T.G. (1981), *Finite Element Programming of the Navier Stokes Equations*, Pineridge Press Ltd, Swansea.
- White, F. M. (1988), *Mekanika Fluida*, Jilid I, terjemahan M. Hariandja, Penerbit Erlangga, Jakarta.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

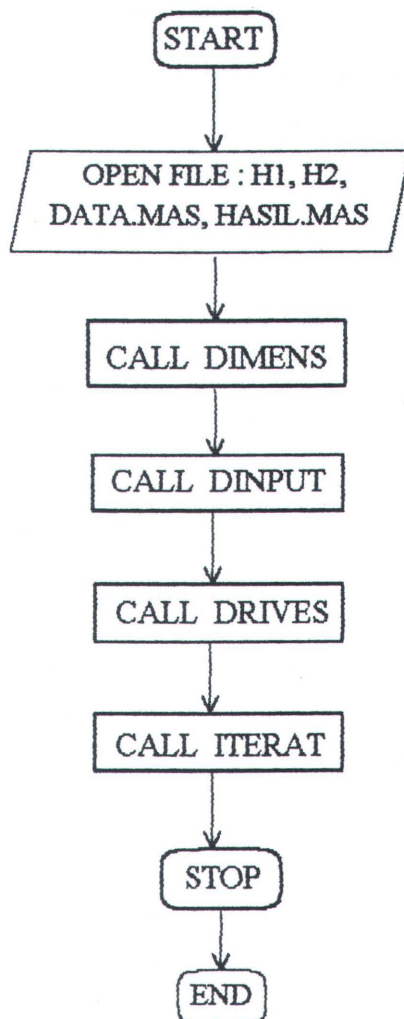
STRUKTUR PROGRAM FLUIDA

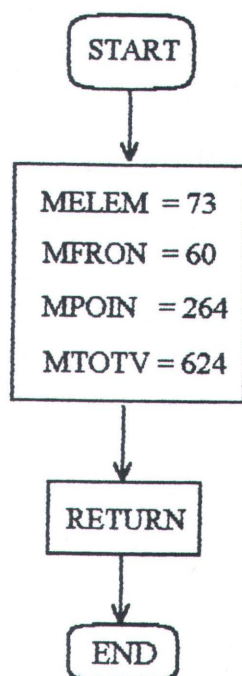


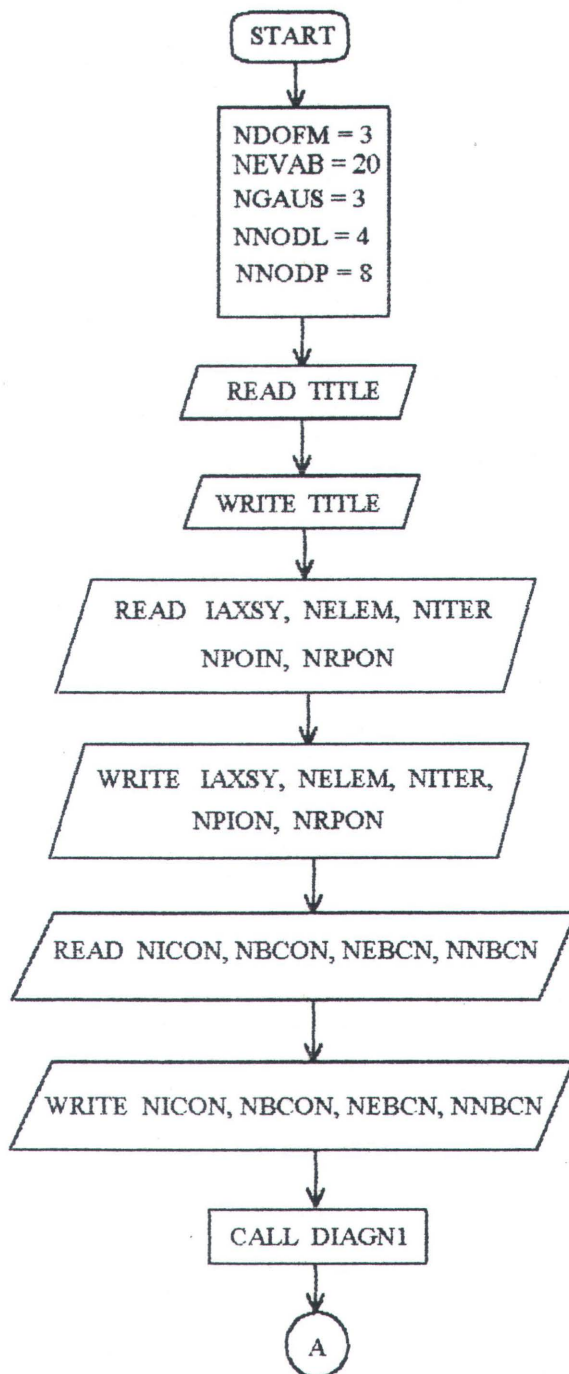
NAMA VARIABEL

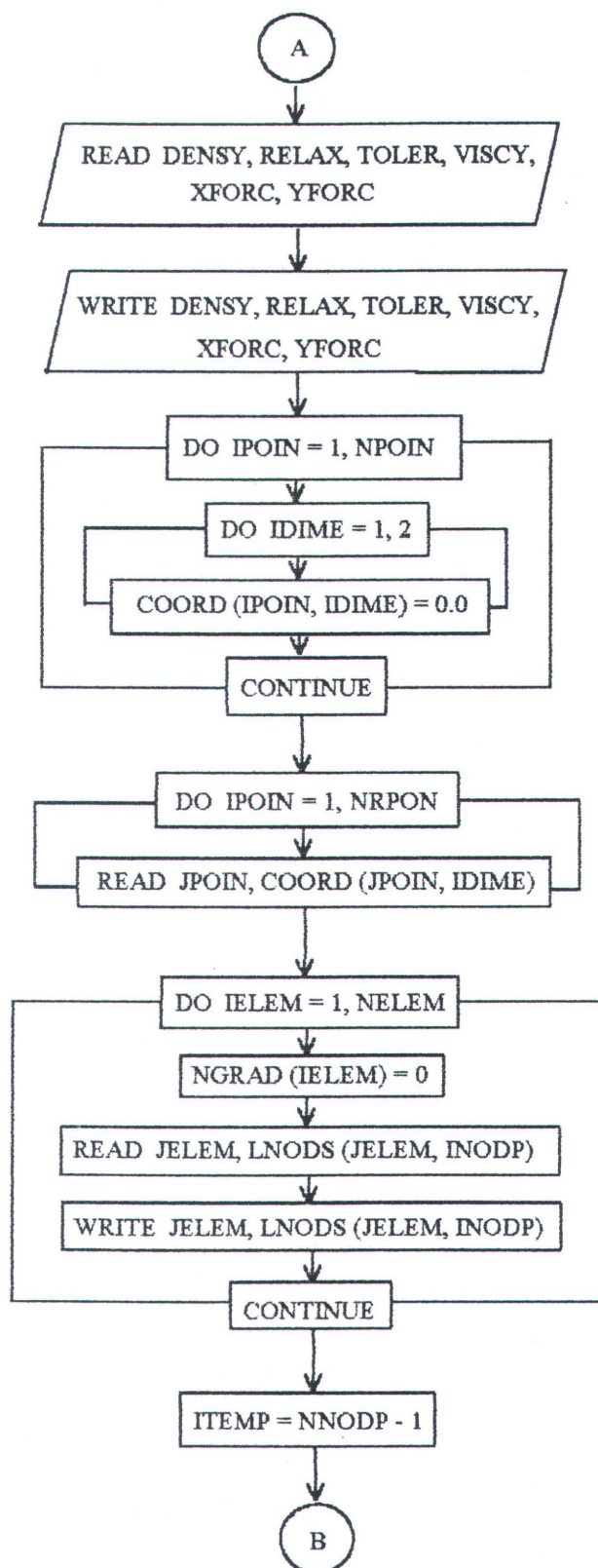
BOUDV (MTOTV)	Harga tetap kondisi batas
COORD (MPOIN,2)	Koordinat global node
EQRHS (MTOTV)	Persamaan pada ruas kanan
GFLUM (MFRON,MFRON)	Matriks assembly akhir
GRADB (MPOIN,4)	Gradien kecepatan pada node
LBOUD (MTOTV)	Array yang menunjukkan harga tetap variabel
LNODS (MELEM,8)	Array untuk penomoran node
NADFM (MPOIN)	Jumlah derajat kebebasan global tiap node
NGRAD (NELEM)	Array yang menyatakan pada sisi elemen mana suatu gradien kecepatan diberikan
NODFM (MPOIN)	Array yang menunjukkan jumlah derajat kebebasan per node
PNORM (MFRON)	Normalisasi persamaan pivot
POSGP (3)	Posisi dari sampling Gauss pada koordinat lokal
VARB1 (MTOTV)	Variabel untuk harga sekarang pada iterasi
VARB2 (MTOTV)	Variabel untuk harga lama pada iterasi
WEIGP (3)	Faktor bobot Gauss pada titik sampling
MELEM	Jumlah elemen maksimum pada mesh

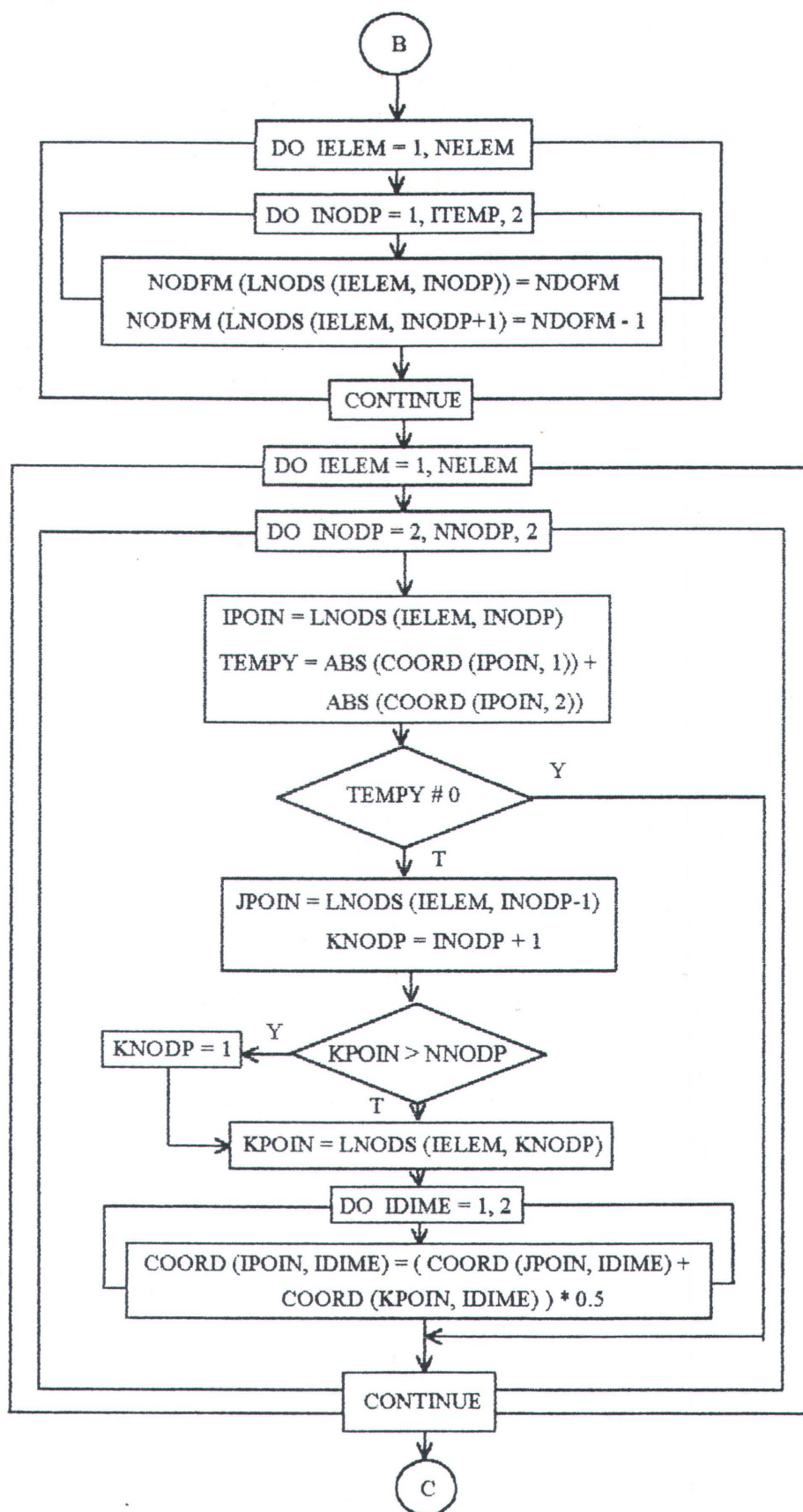
MPOIN	Jumlah node maksimum pada node
MFRON	Jumlah variabel maksimum dalam frontwidth
MTOTV	Jumlah maksimum variabel dalam mesh
DENSY	densitas fluida
IAXSY	Indikator asimetrik
NBCON	Jumlah kondisi batas tetap
NDOFM	Jumlah maksimum derajat kebebasan pada node
NELEM	Jumlah total elemen dalam mesh
NEVAB	Jumlah variabel total dalam satu elemen
NGAUS	Jumlah titik sampling Gauss (3)
NITER	Jumlah iterasi total bila penyelesaian tidak konvergen
NNODL	Jumlah node elemen linier
NNODP	Jumlah node elemen parabolik
NPOIN	Total jumlah node dalam mesh
NTOTV	Total jumlah variabel dalam mesh
RELAX	Konstanta relaksasi
TOLER	Toleransi yang diberikan untuk konvergensi
VISCY	Viskositas fluida
XFORC	Gaya berat sendiri pada sumbu x
YFORC	Gaya berat sendiri pada sumbu y

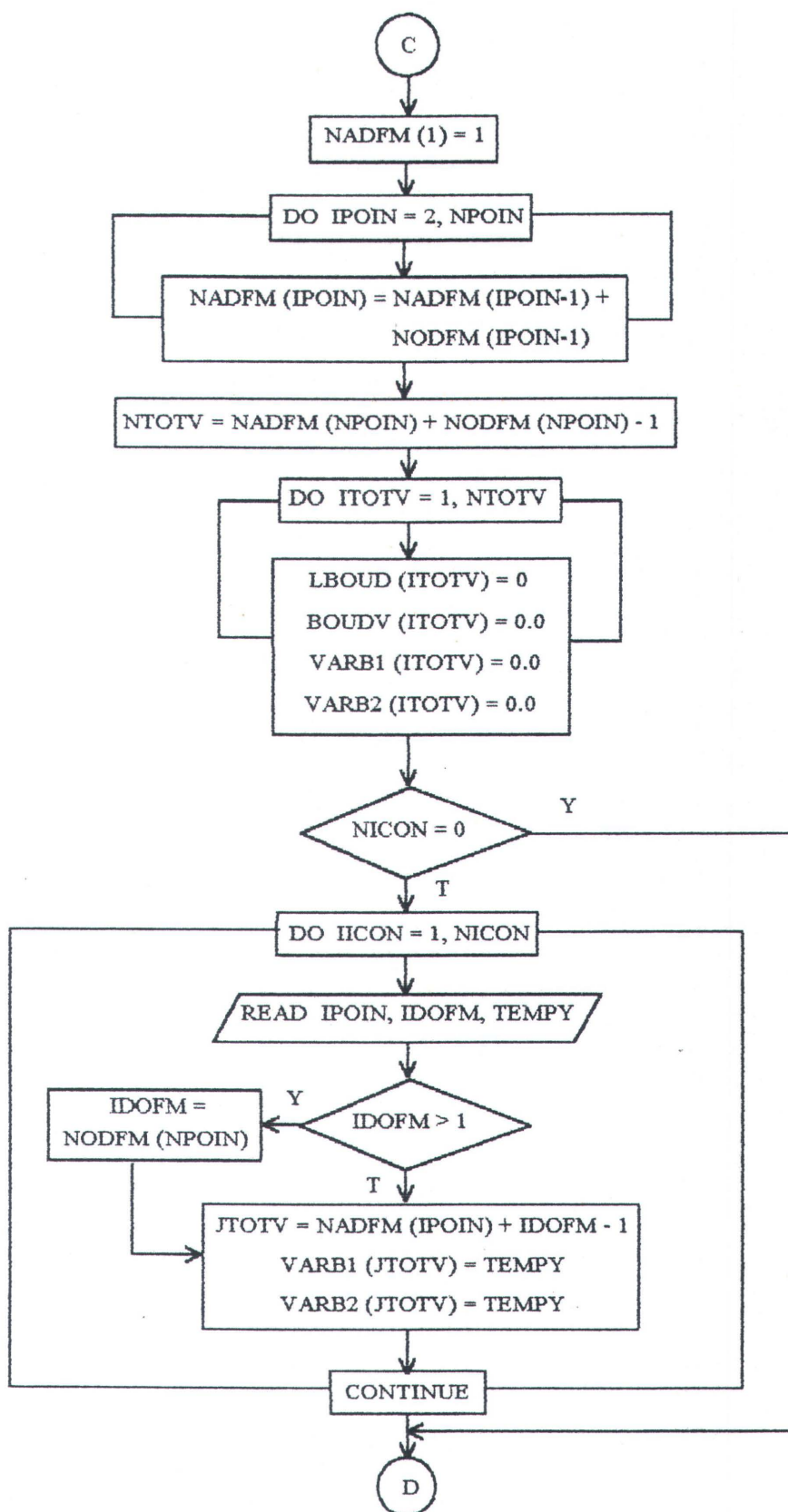
PROGRAM UTAMA

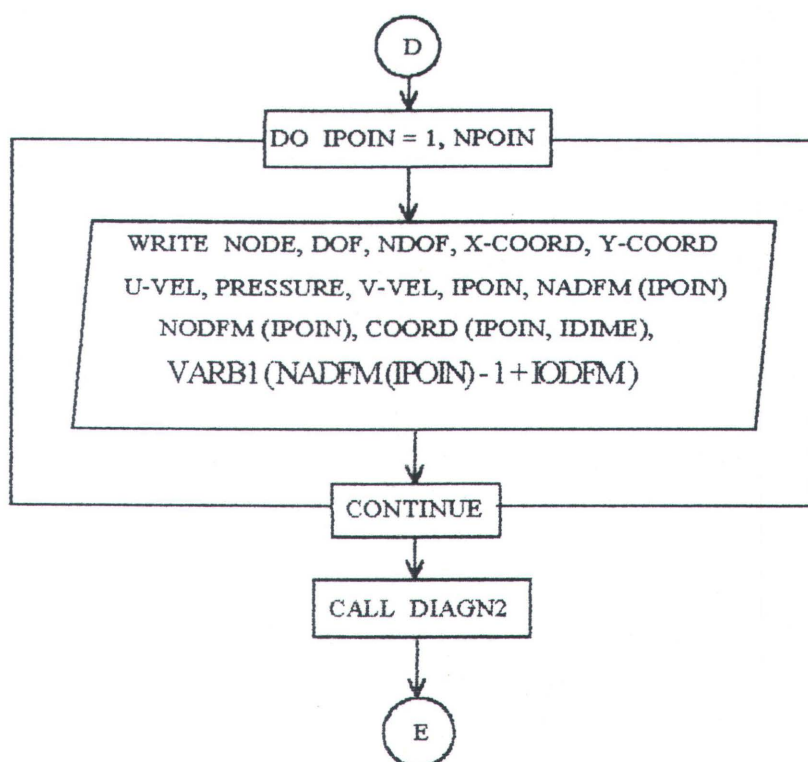
SUBROUTINE DIMENS

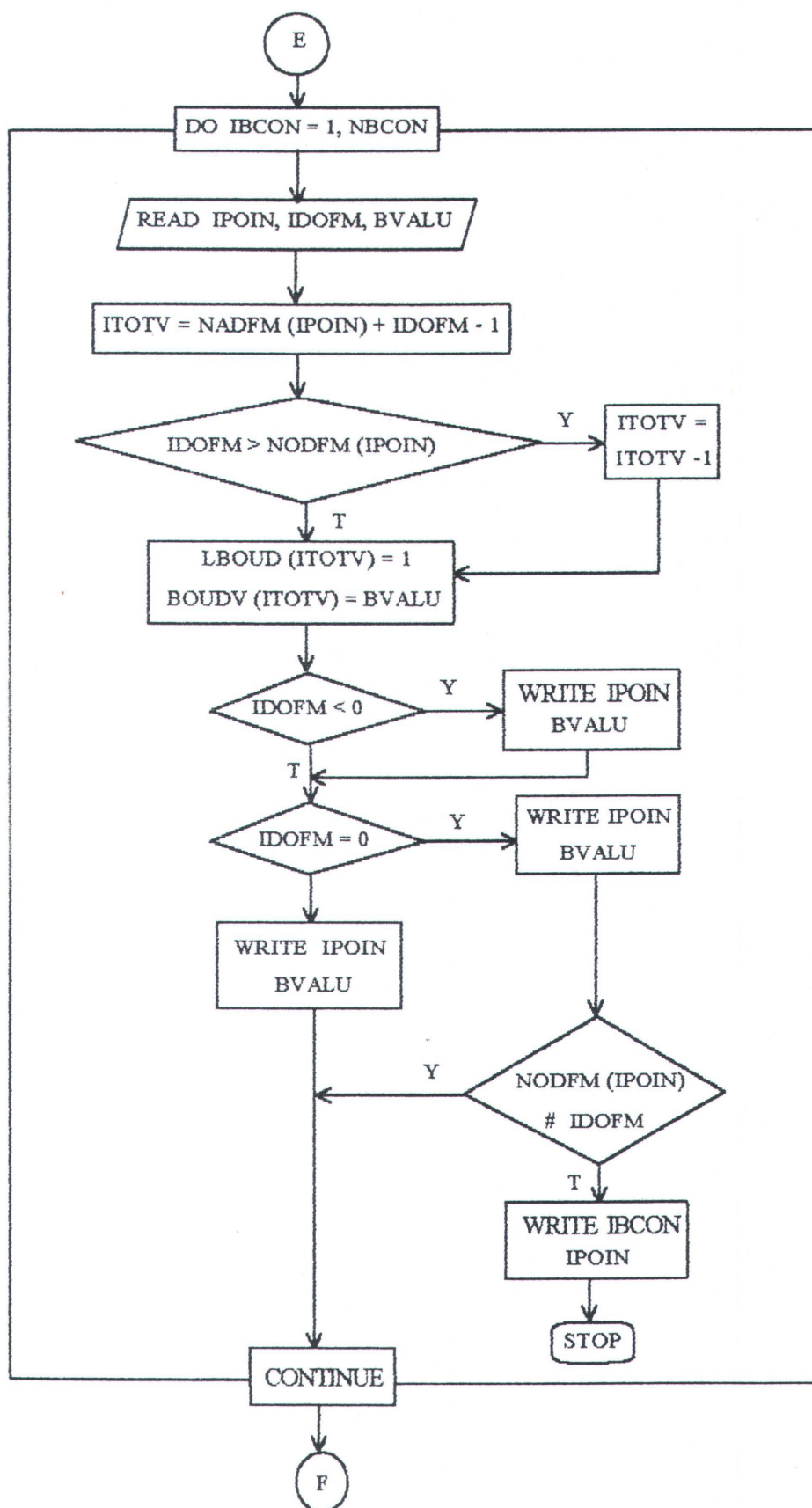
SUBROUTINE DINPUT

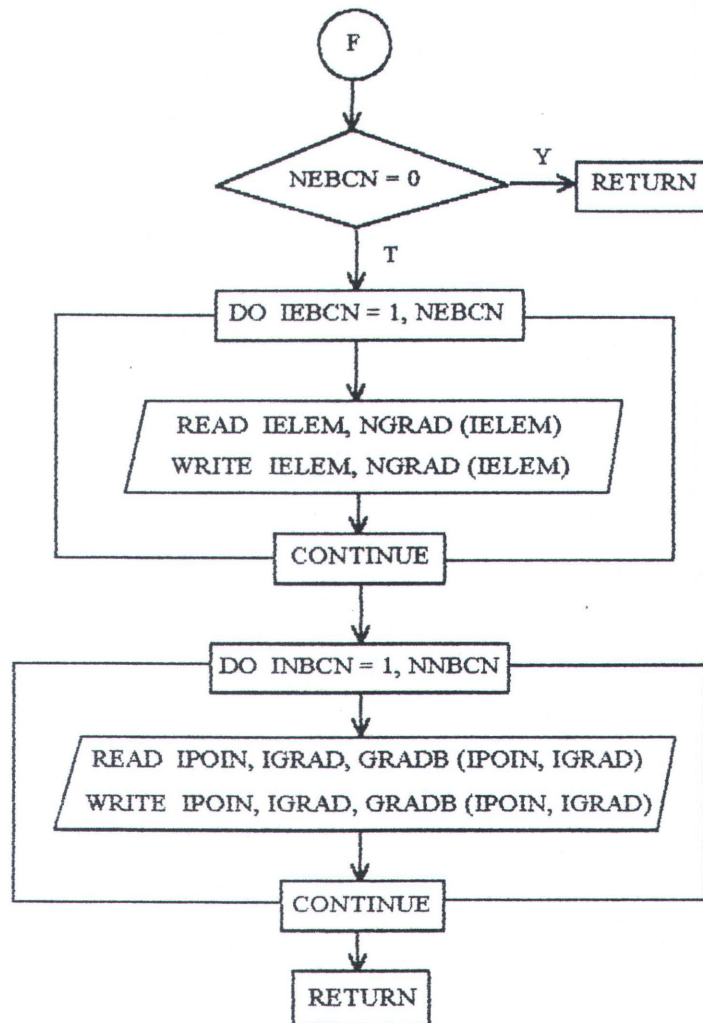




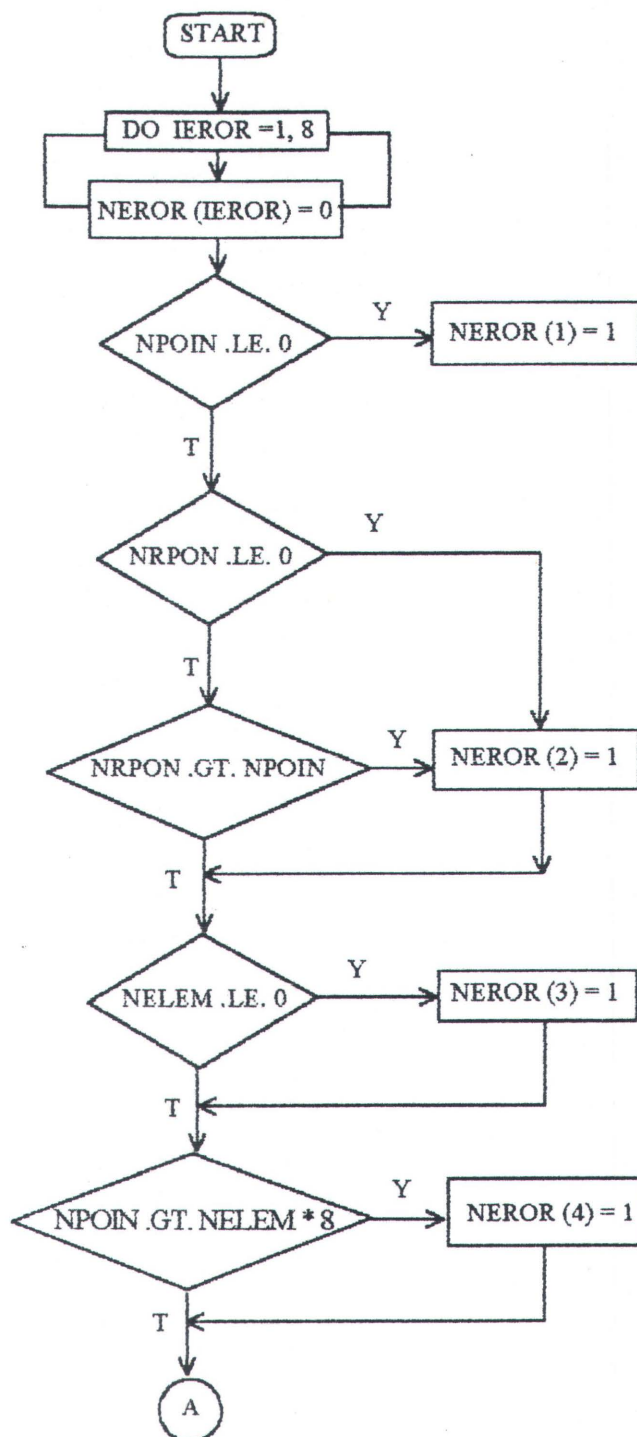


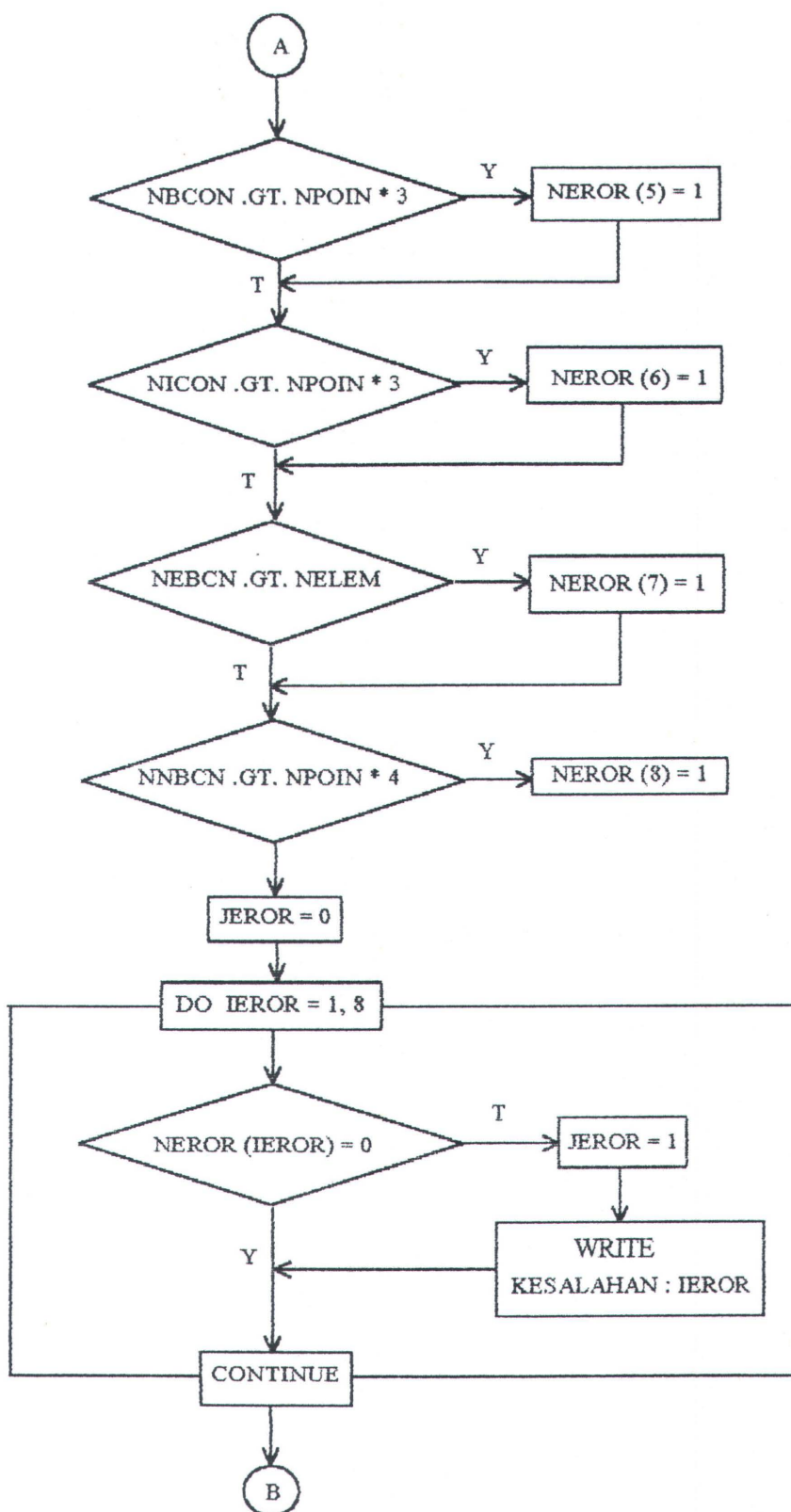


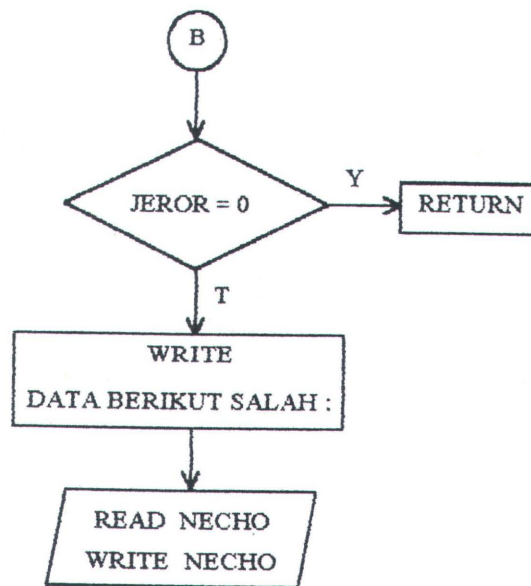


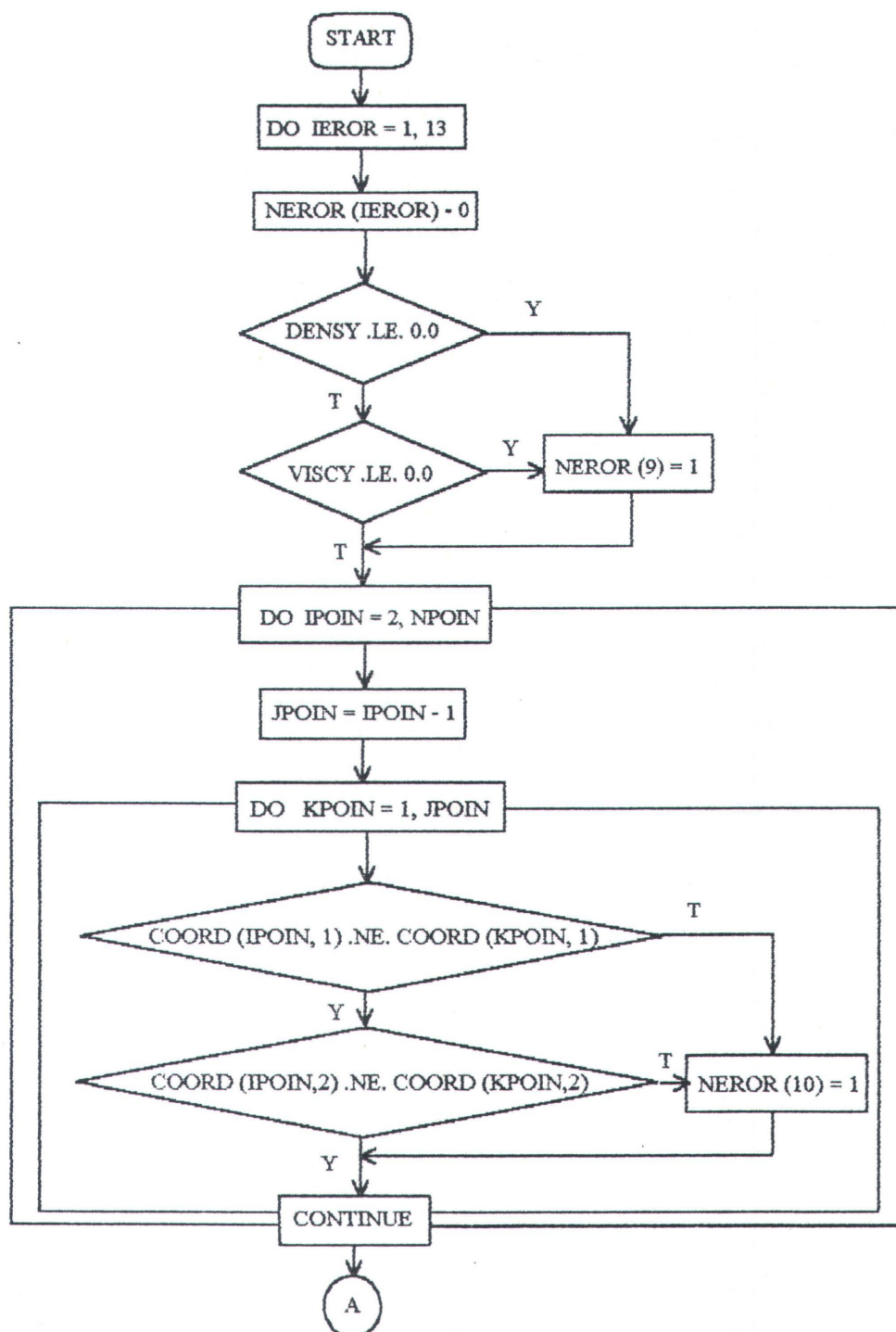


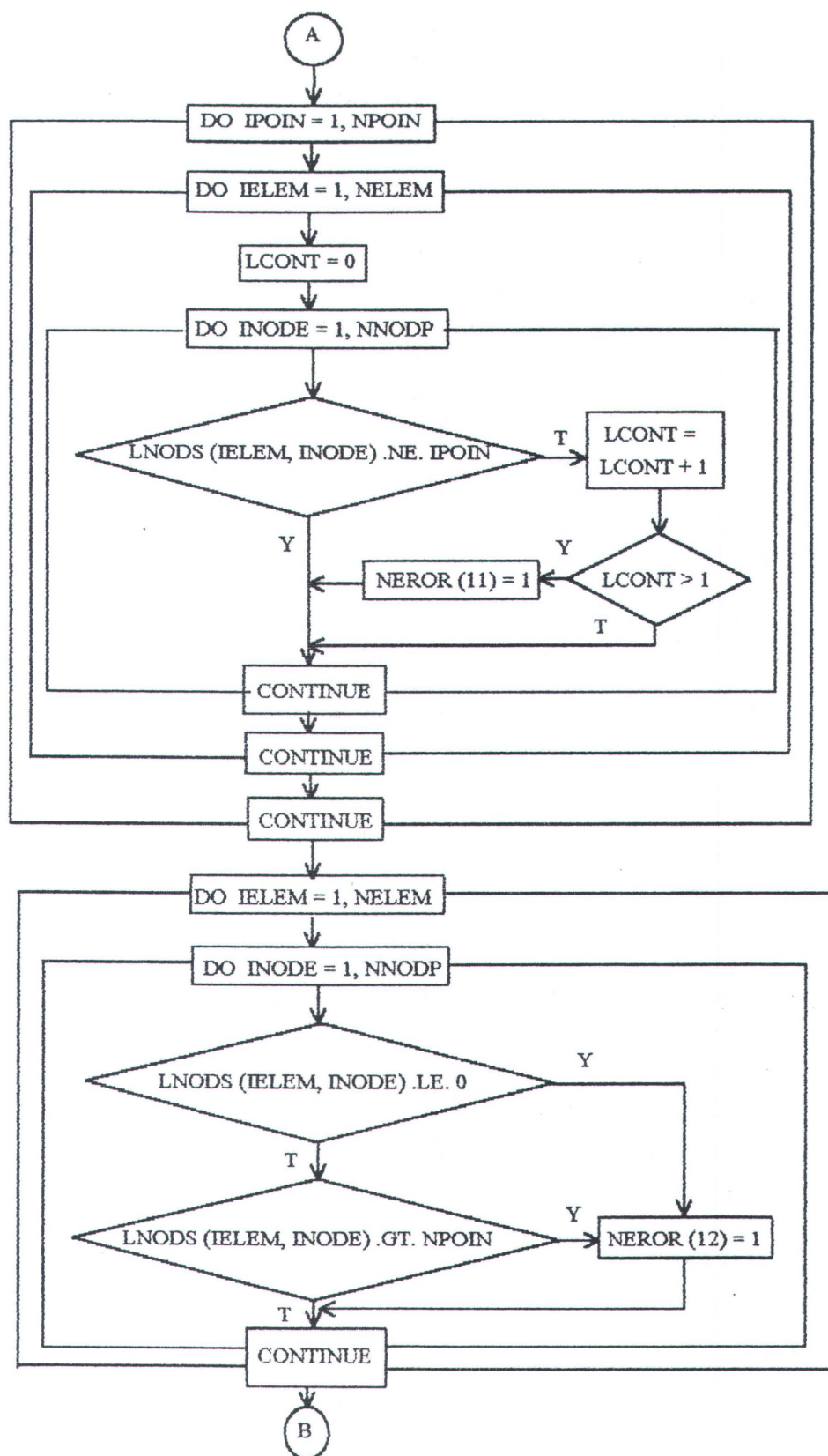
SUBROUTINE DIAGN1

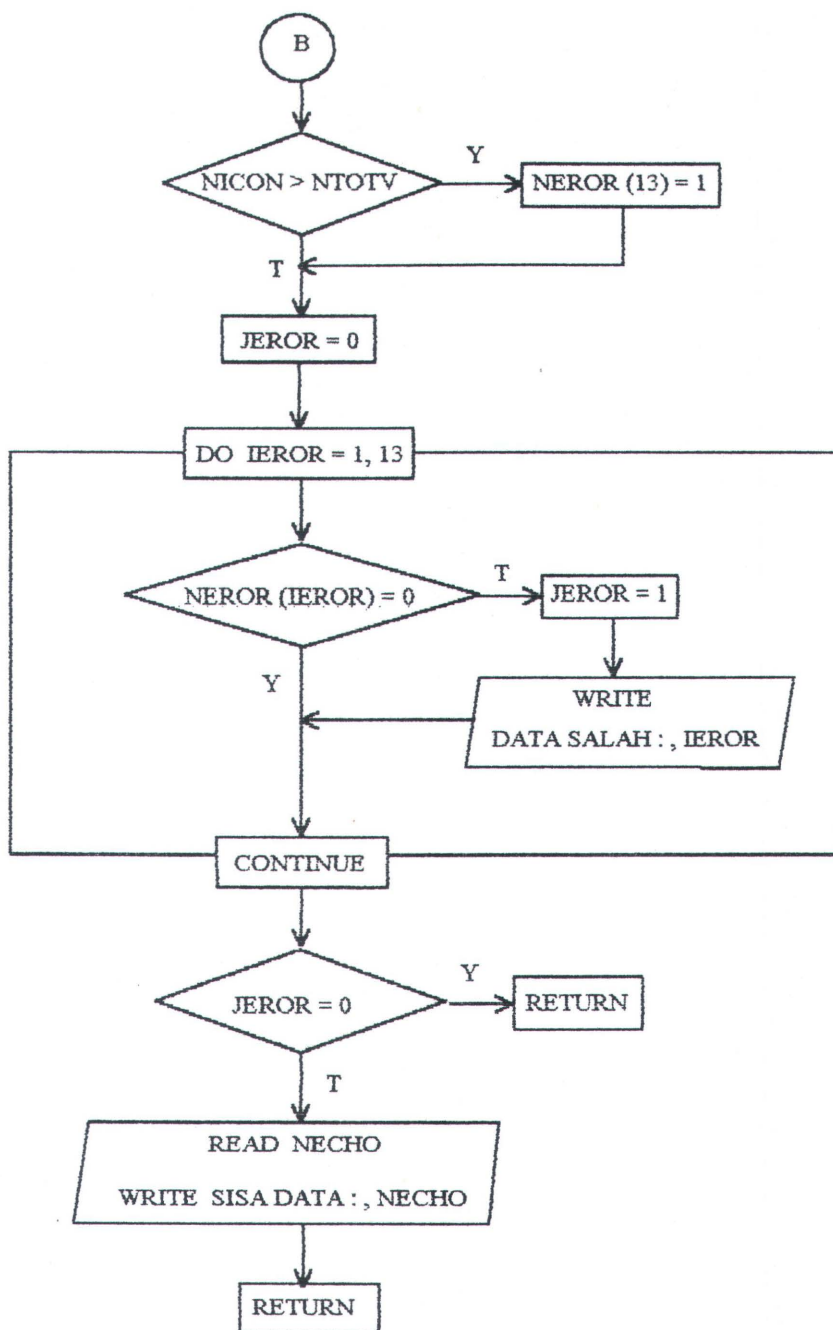




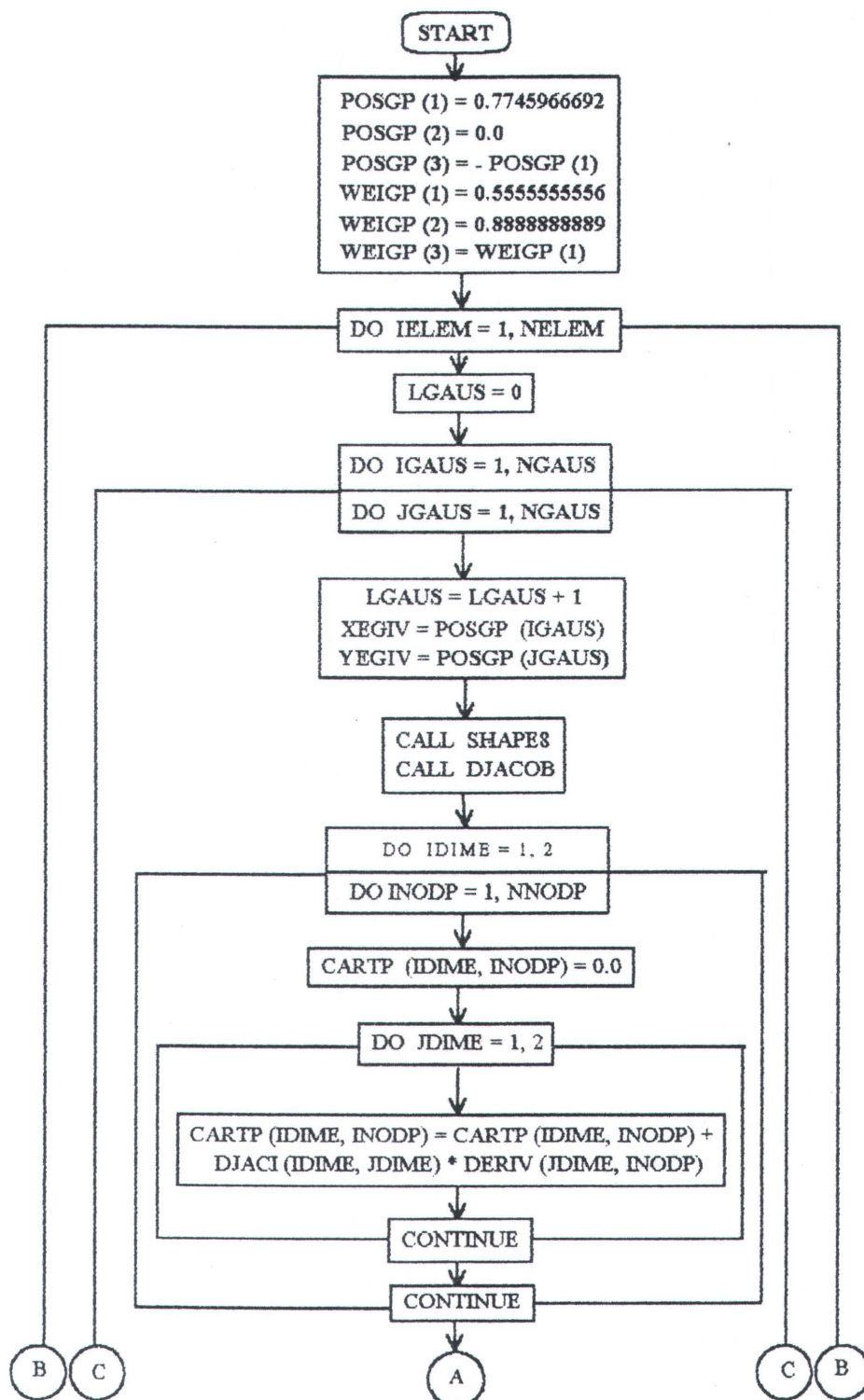


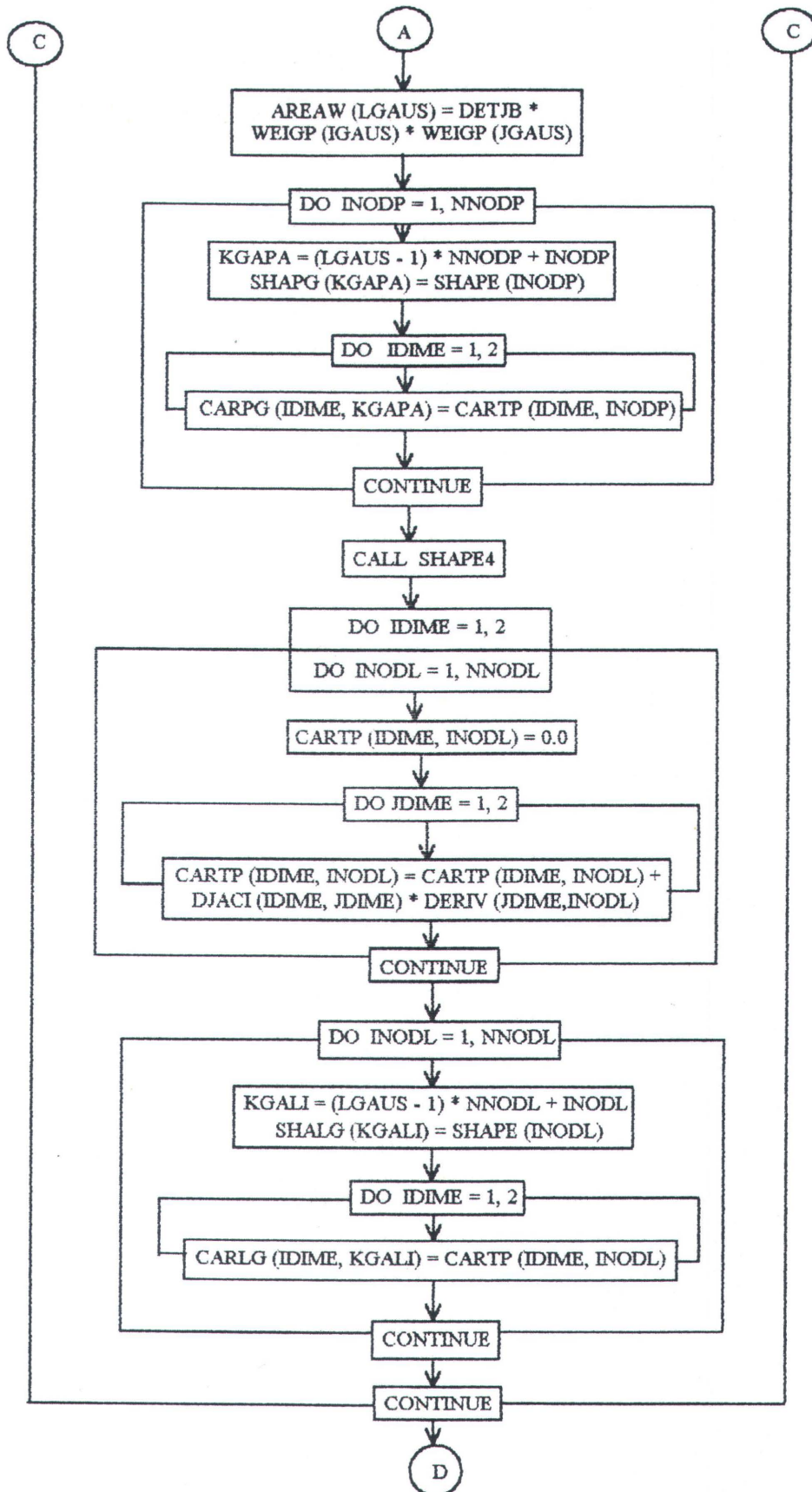
SUBROUTINE DIAGN2

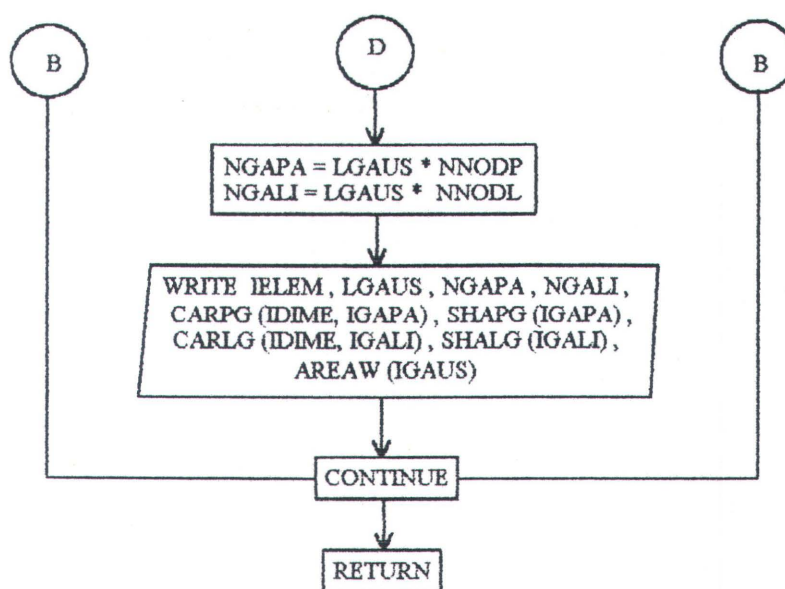


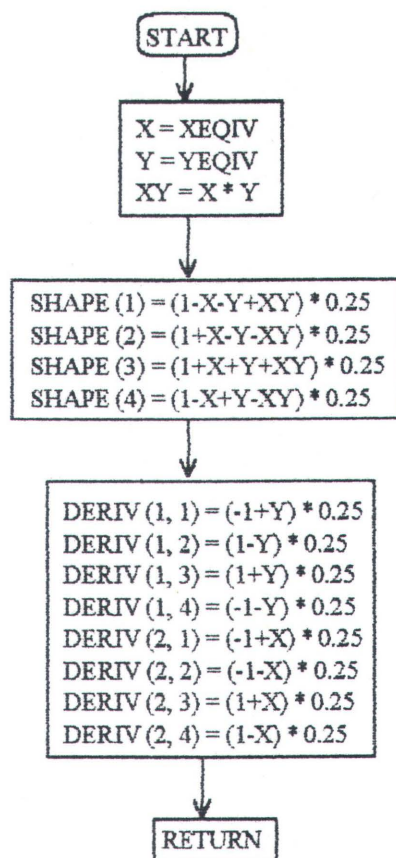


SUBROUTINE DRIVES

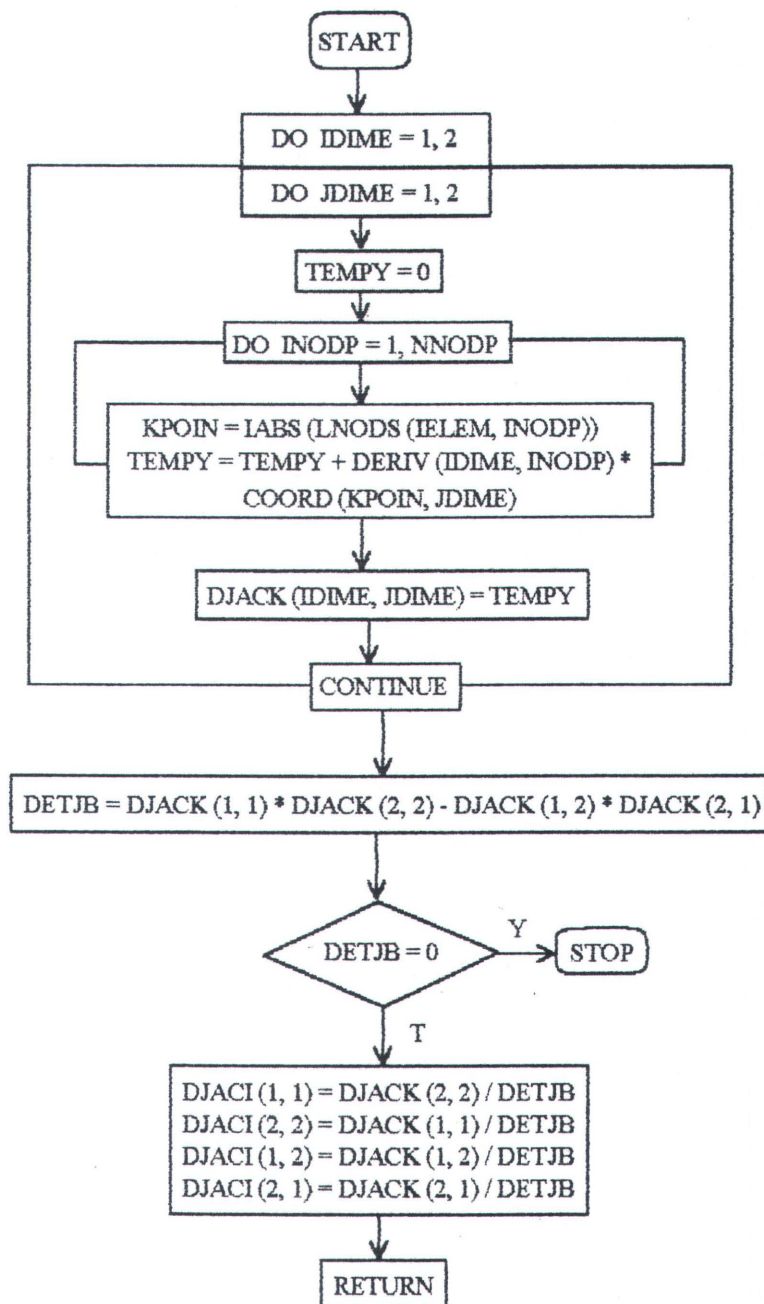




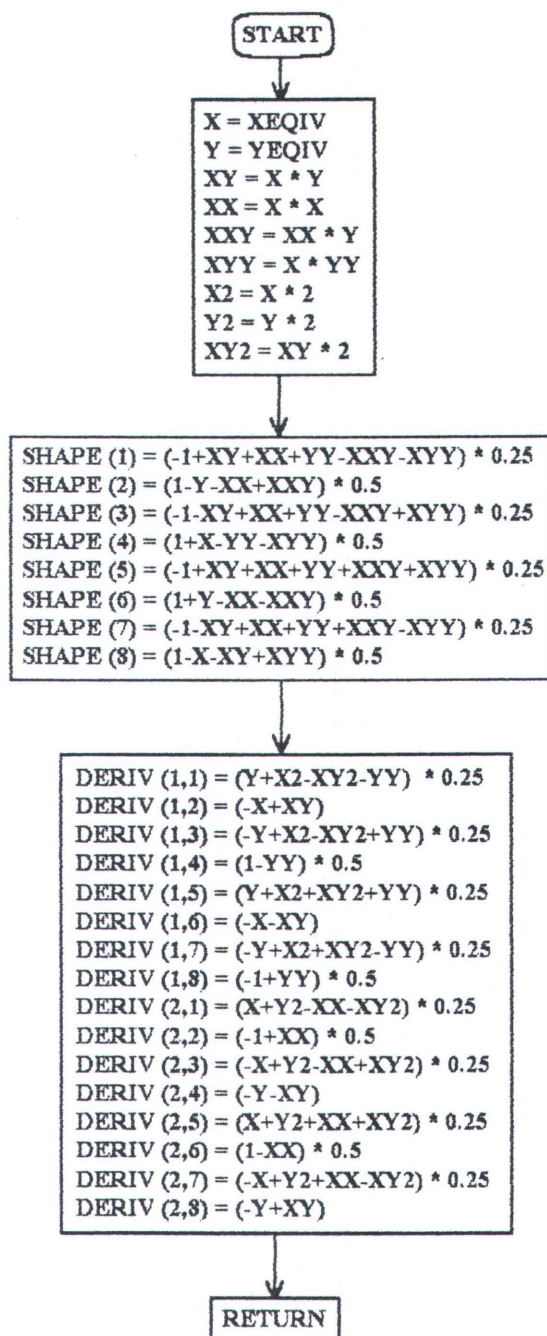


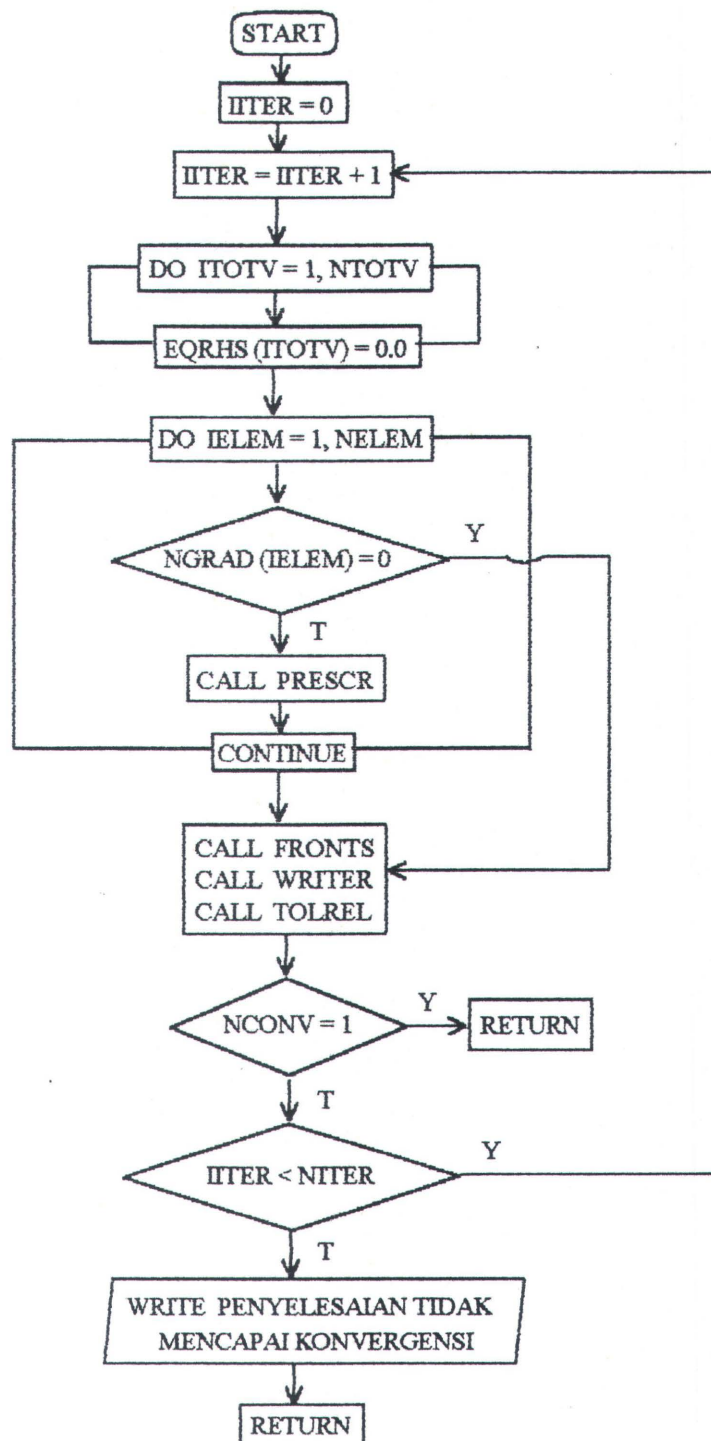
SUBROUTINE SHAPE4

SUBROUTINE DJACOB

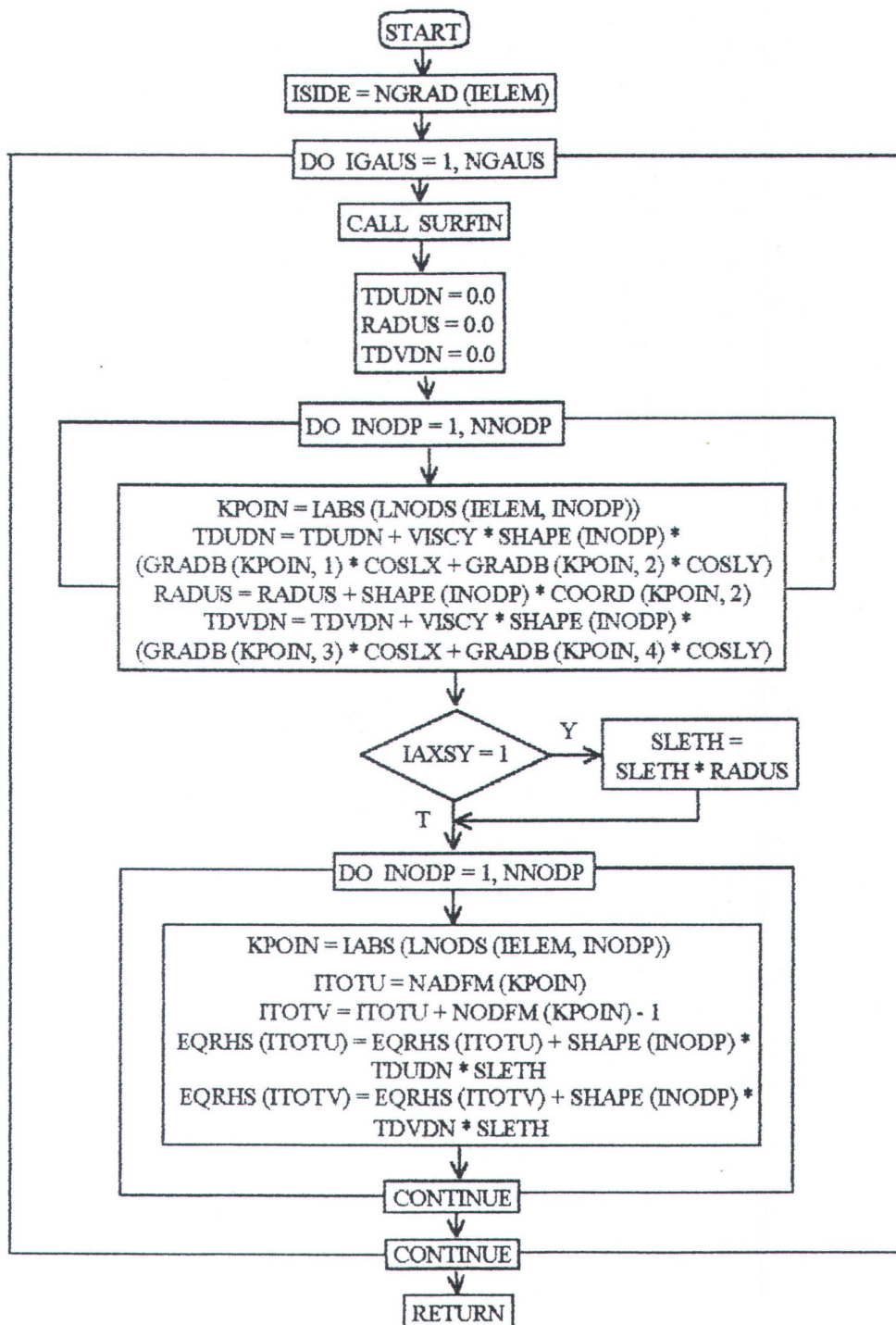


SUBROUTINE SHAPE8

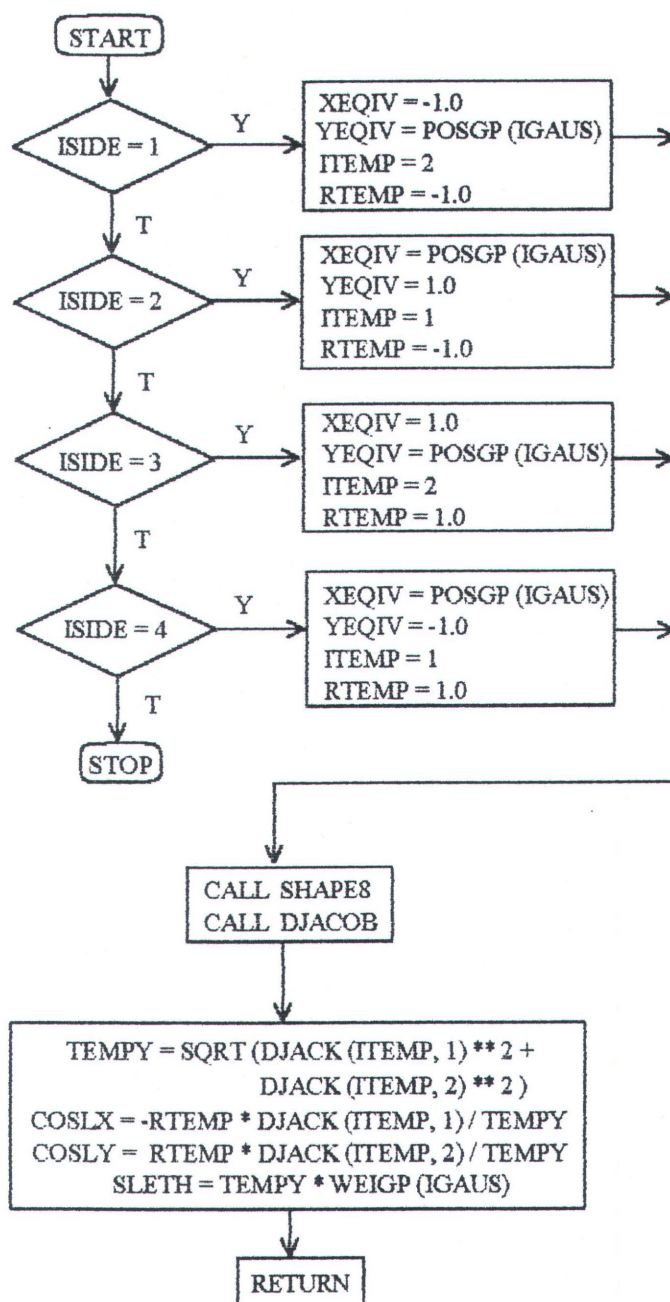


SUBROUTINE ITERAT

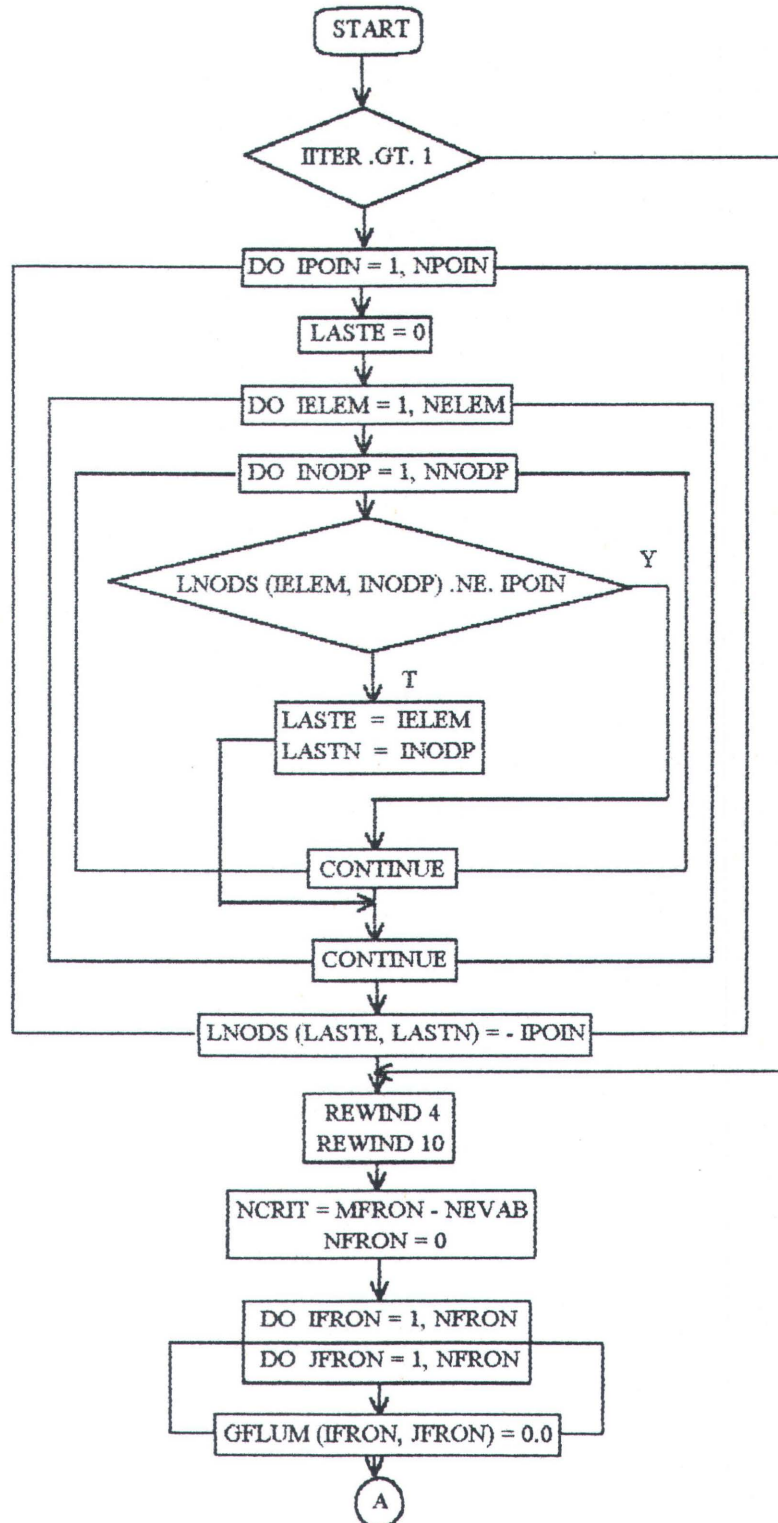
SUBROUTINE PRESCR

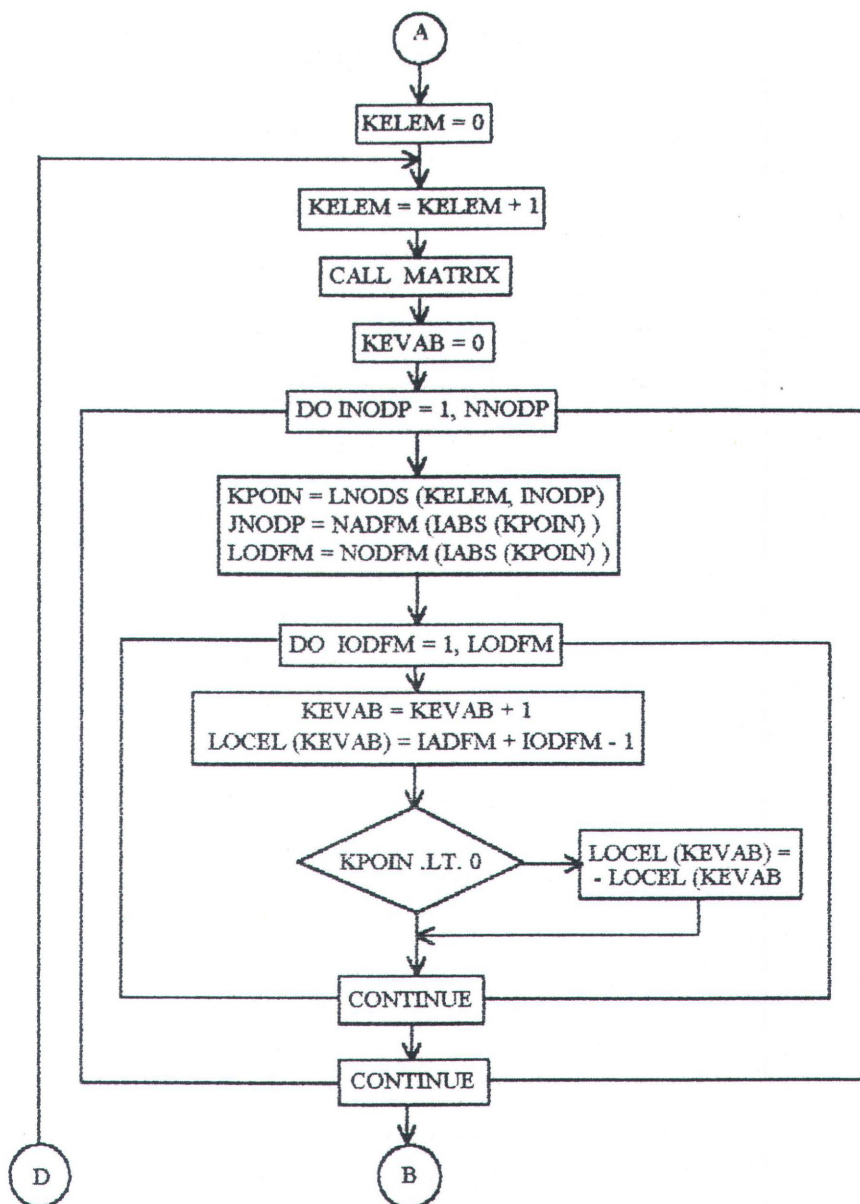


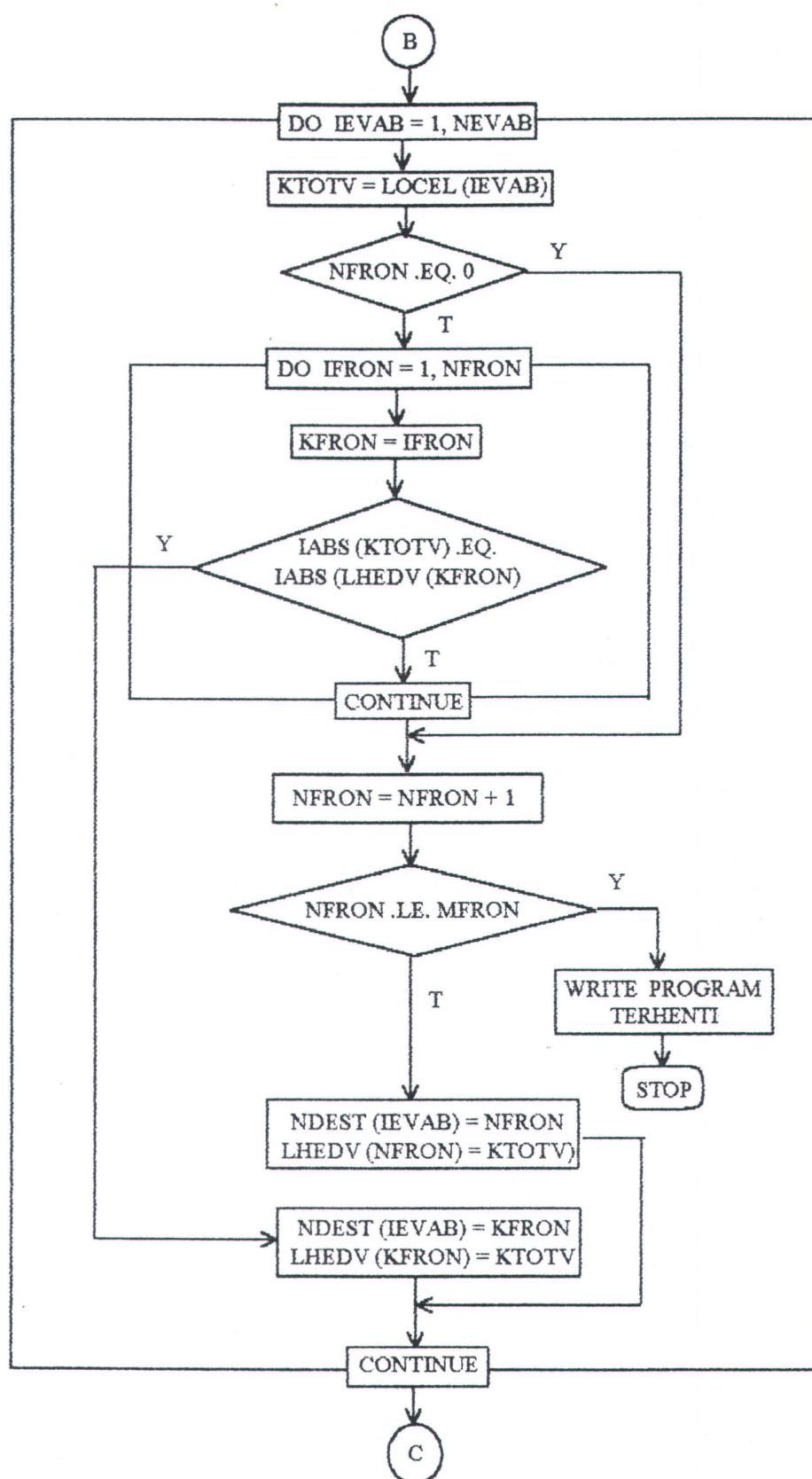
SUBROUTINE SURFIN

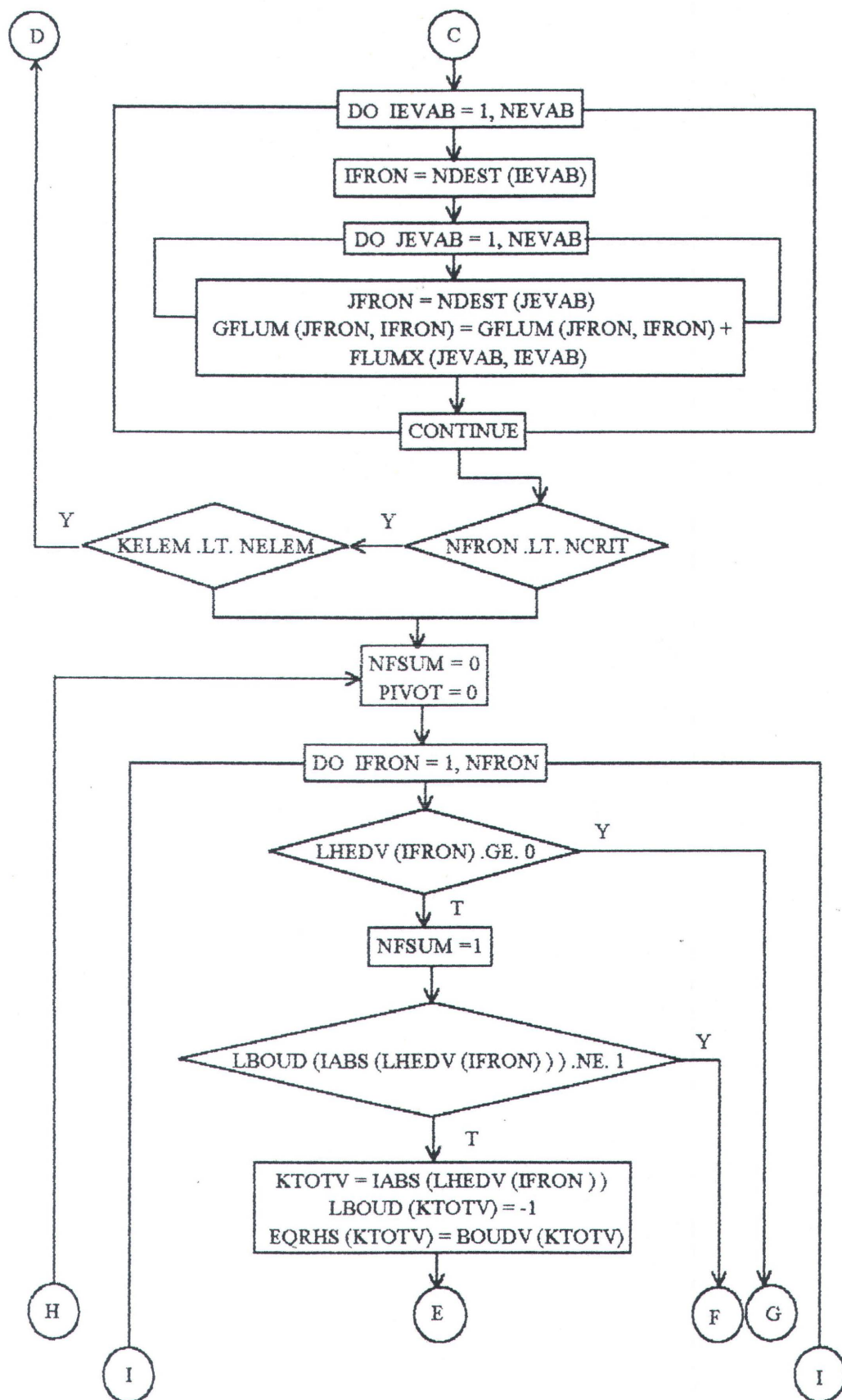


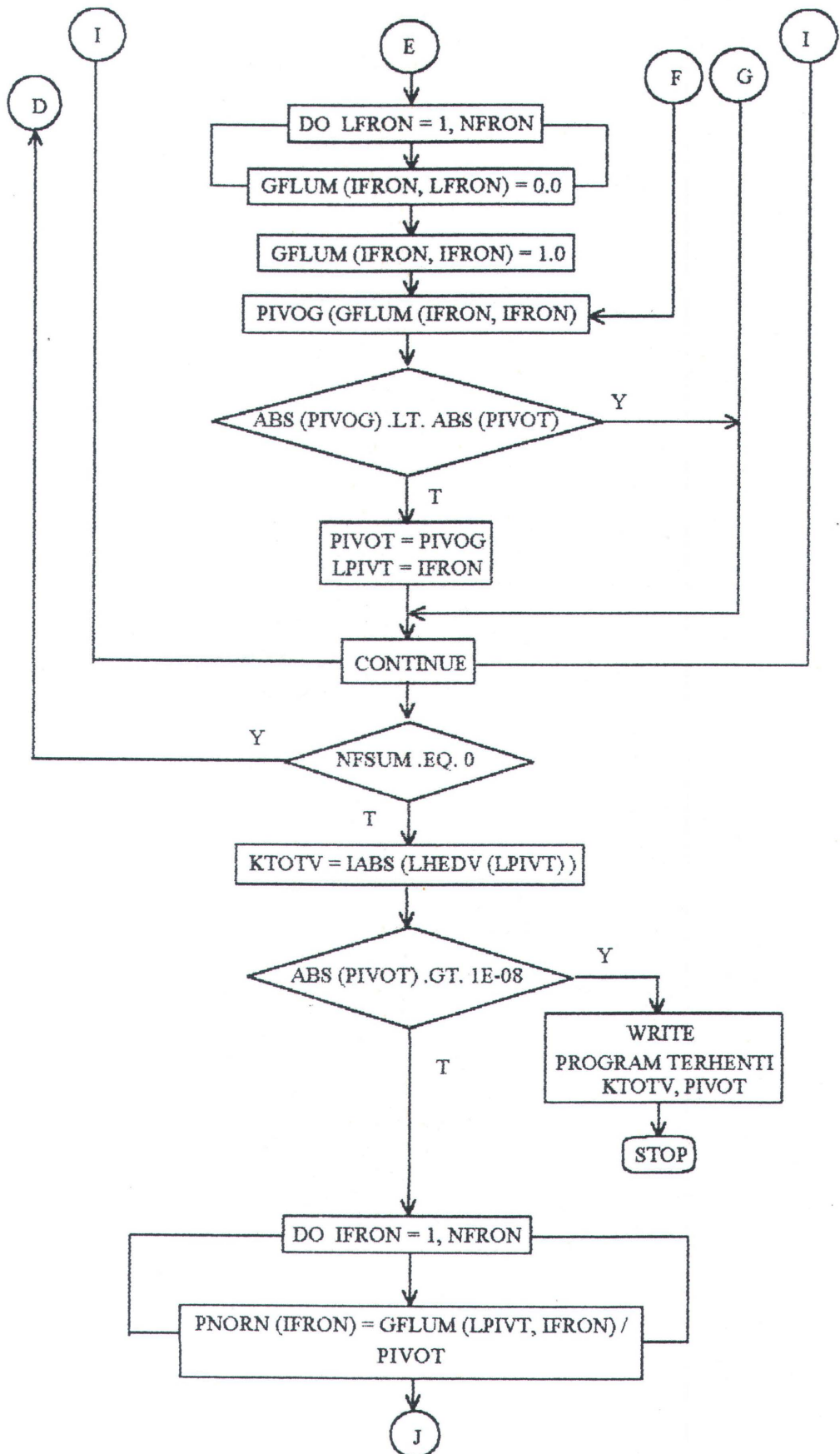
SUBROUTINE FRONTS

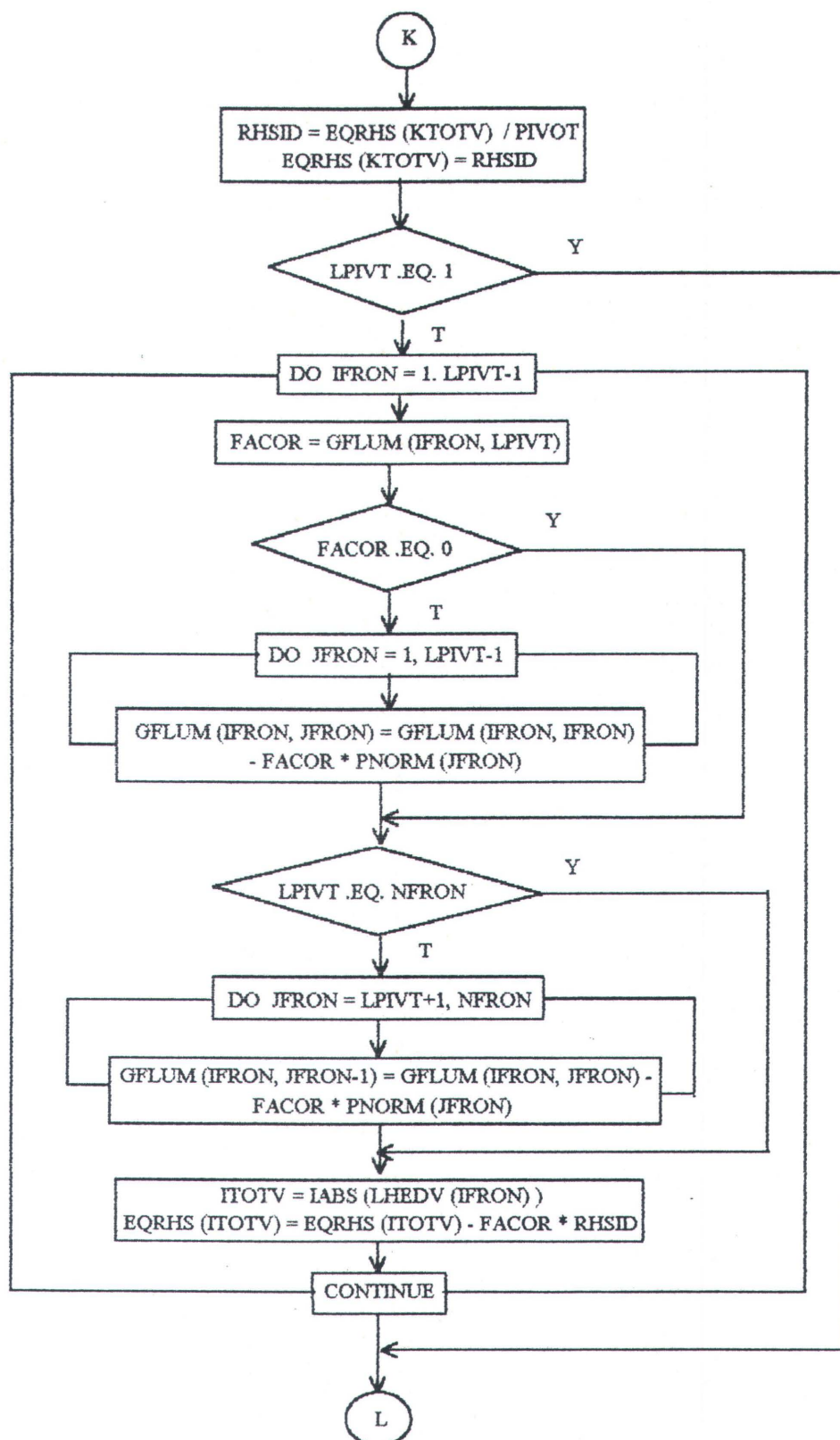


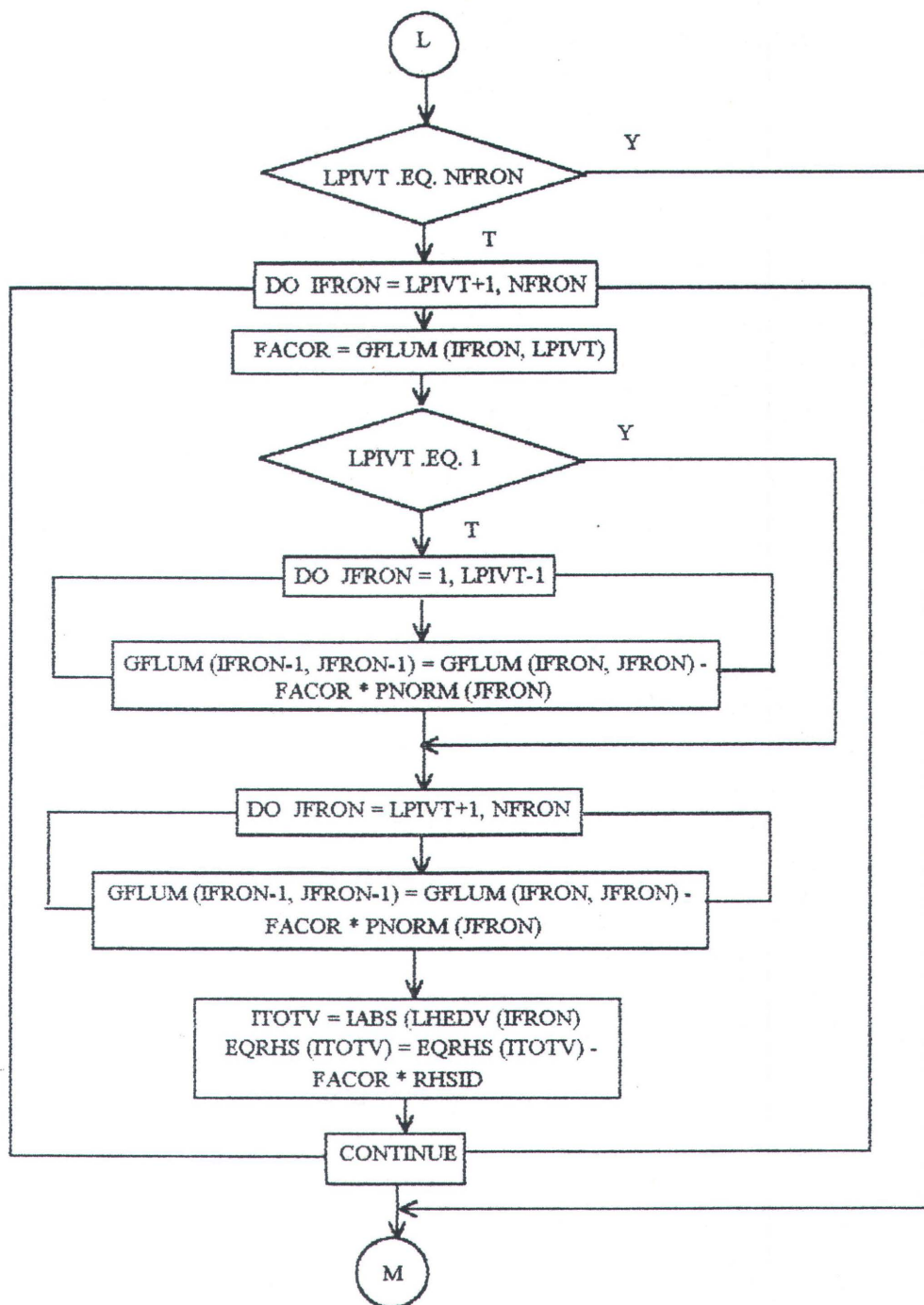


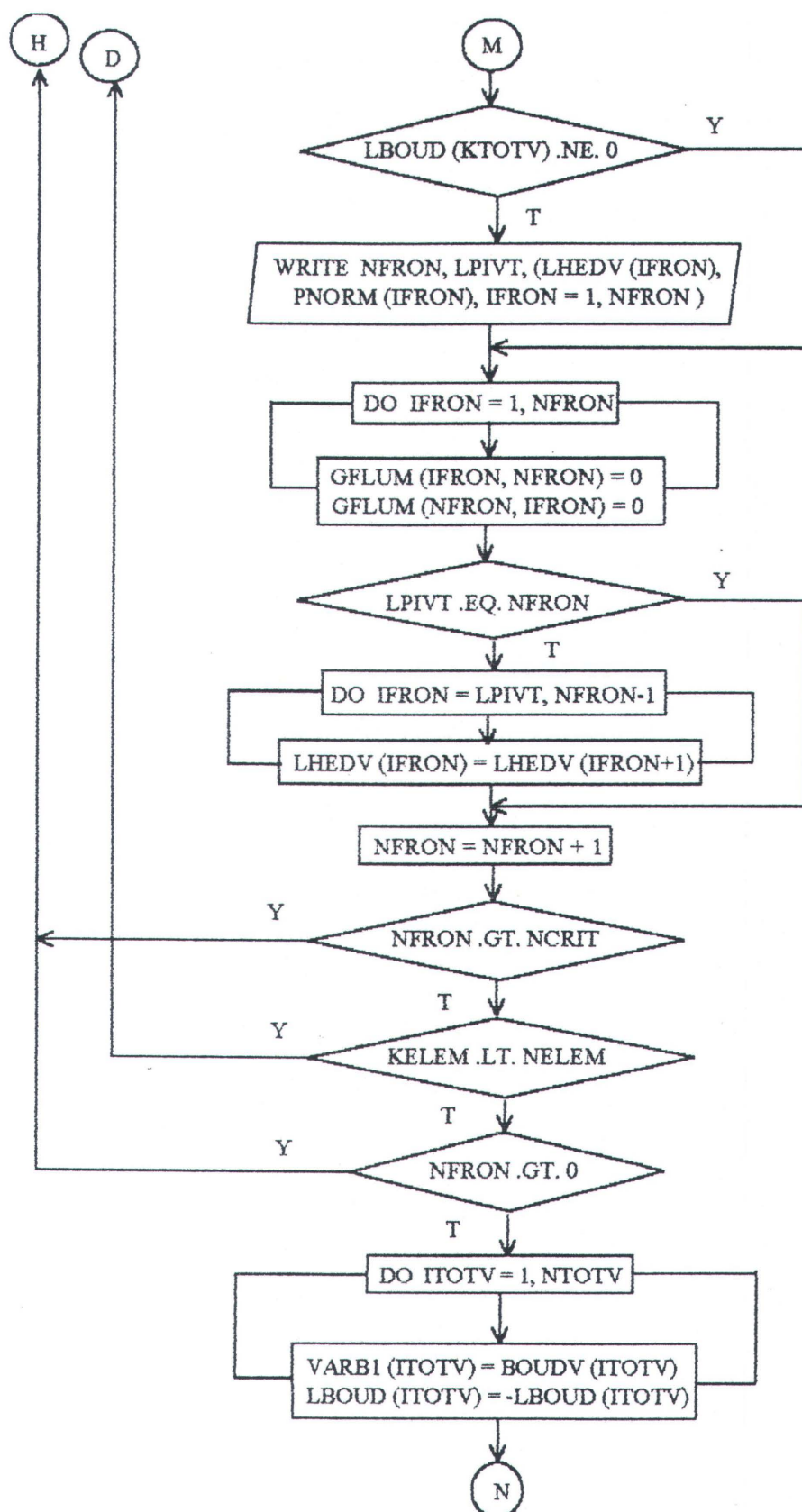


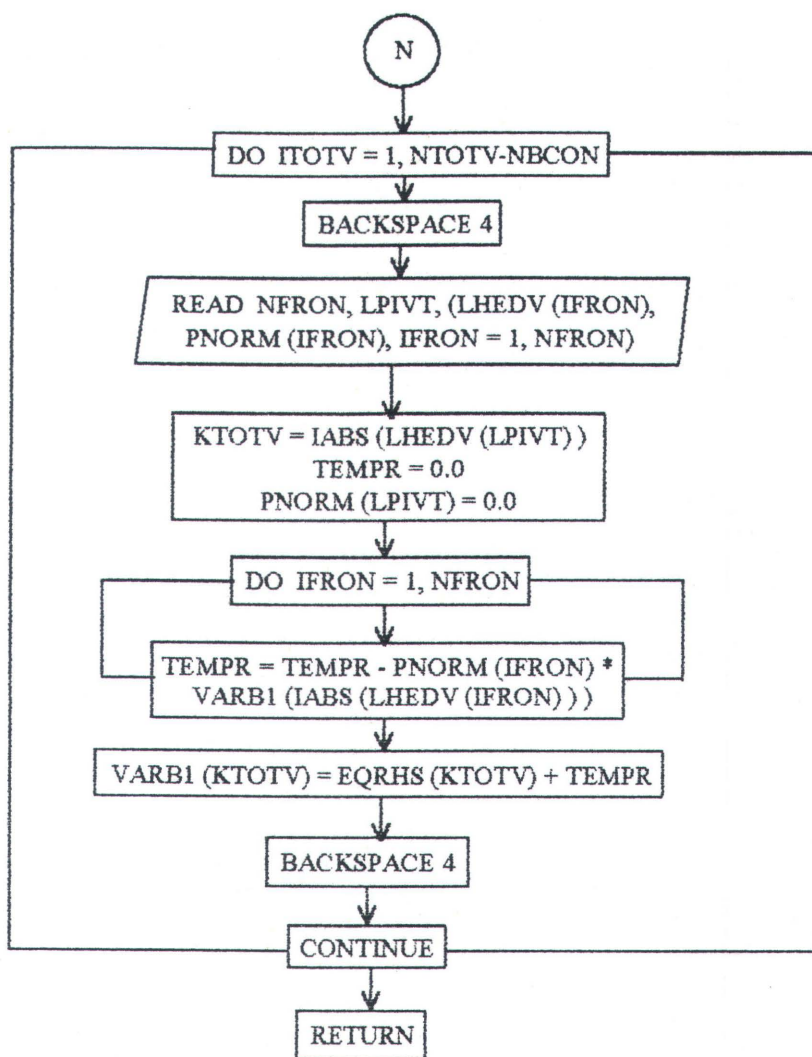




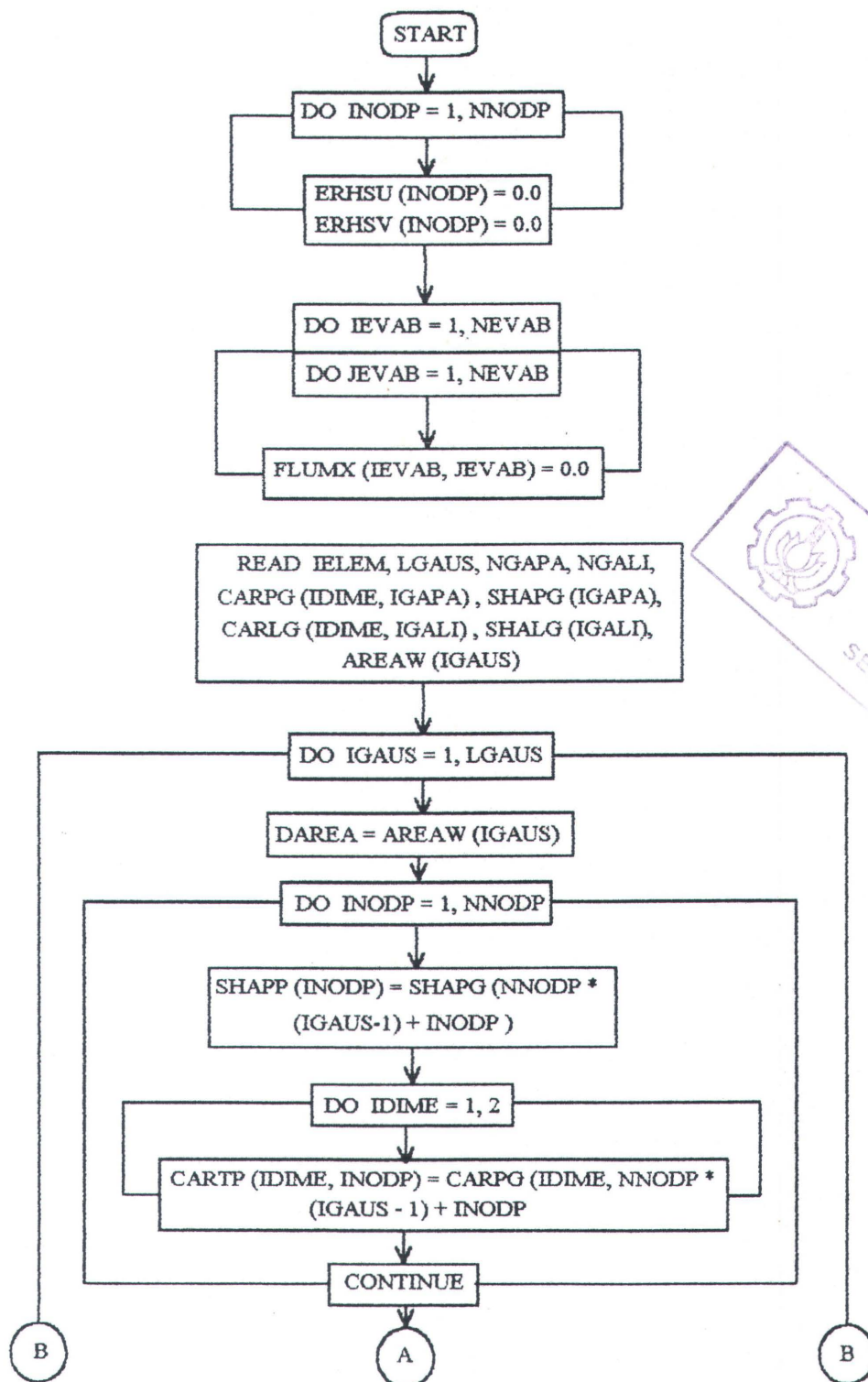


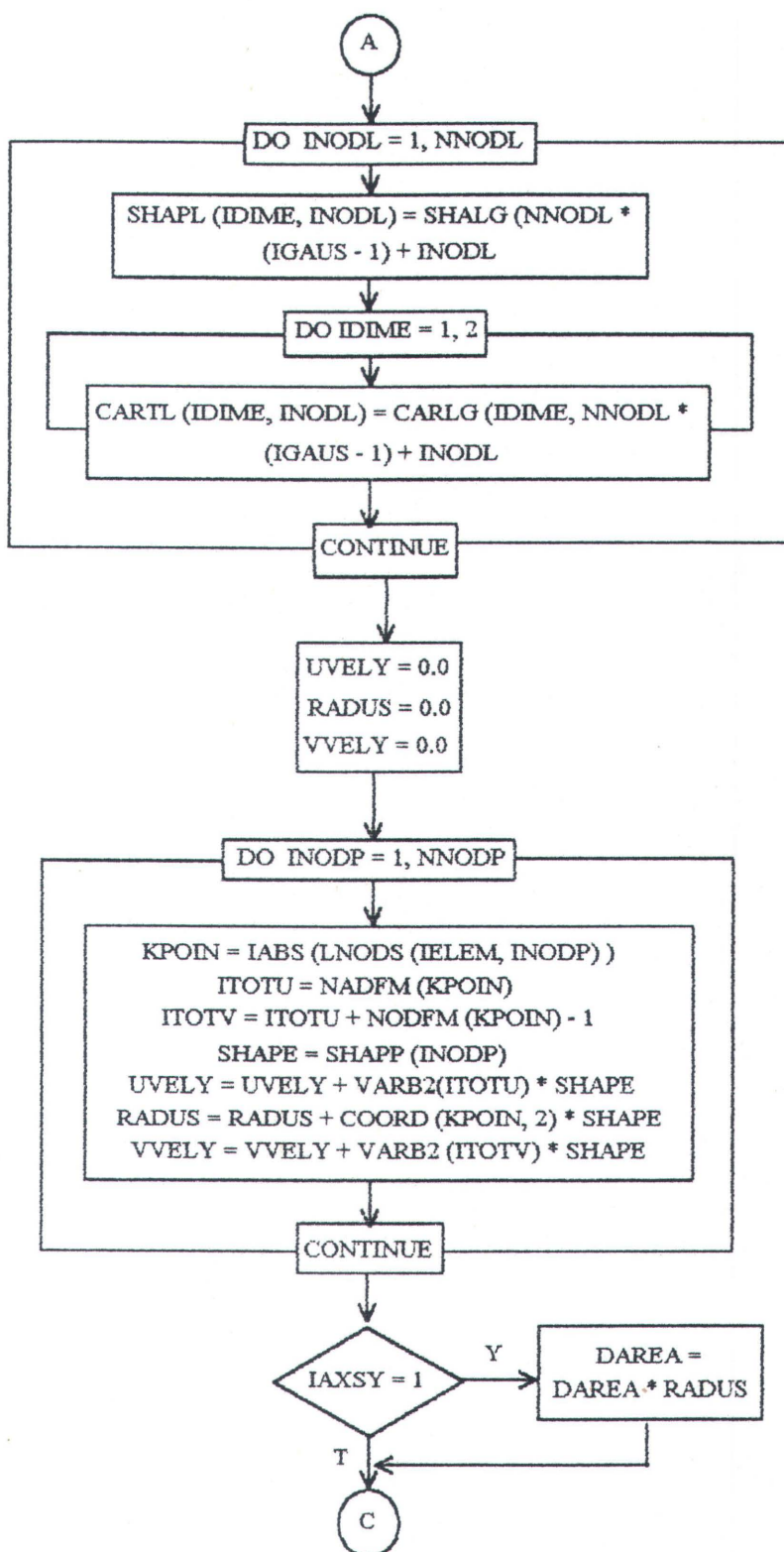


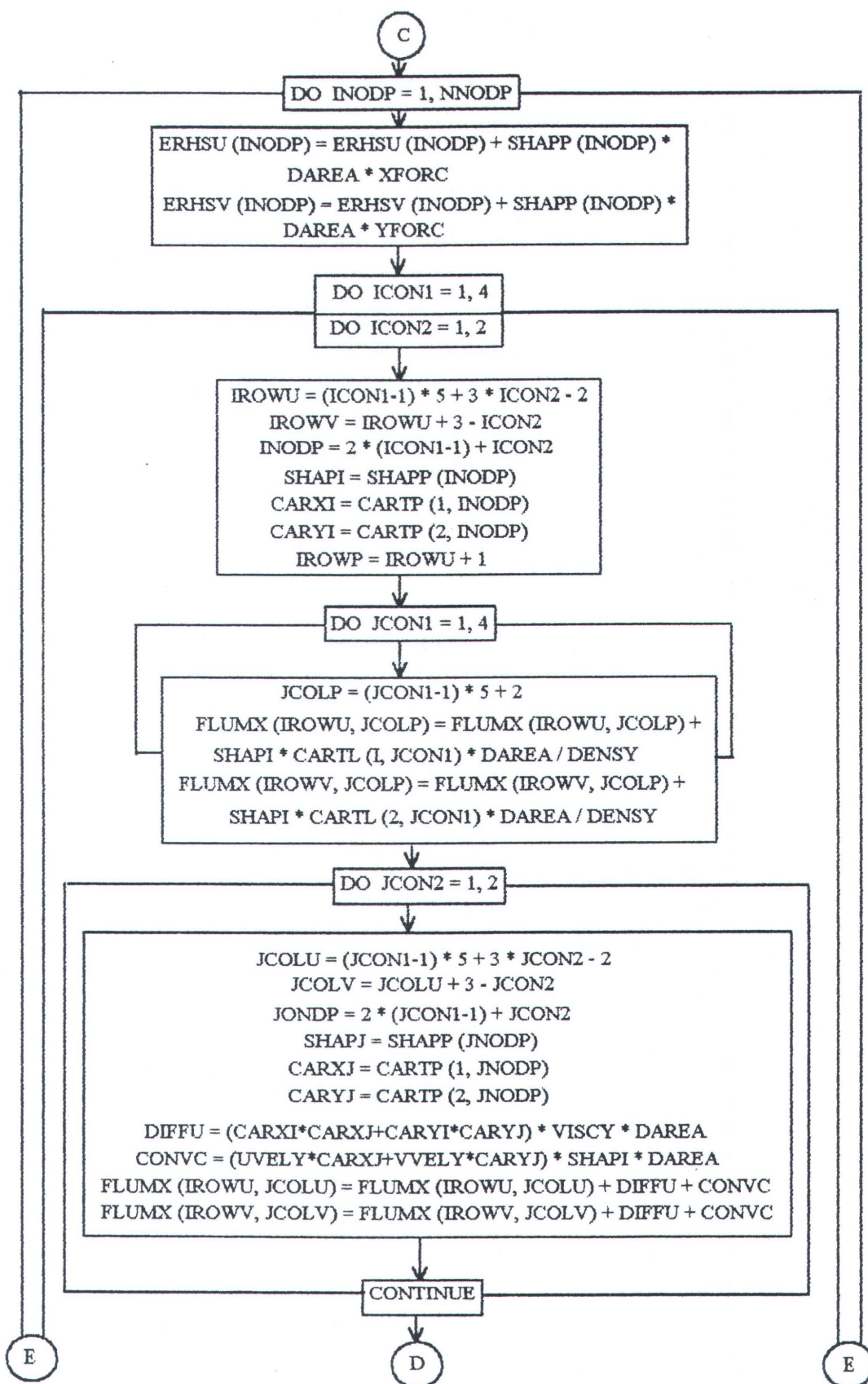


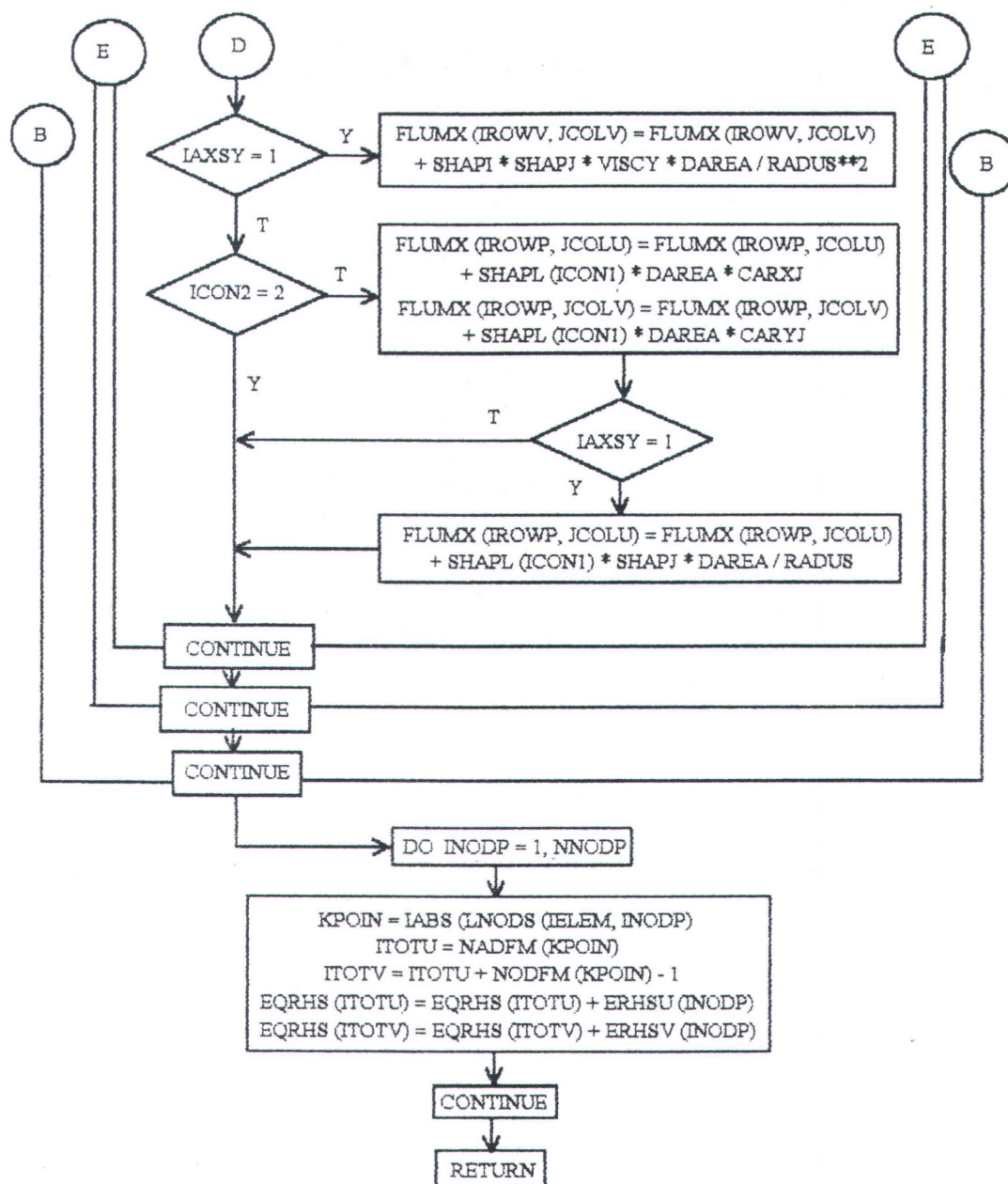


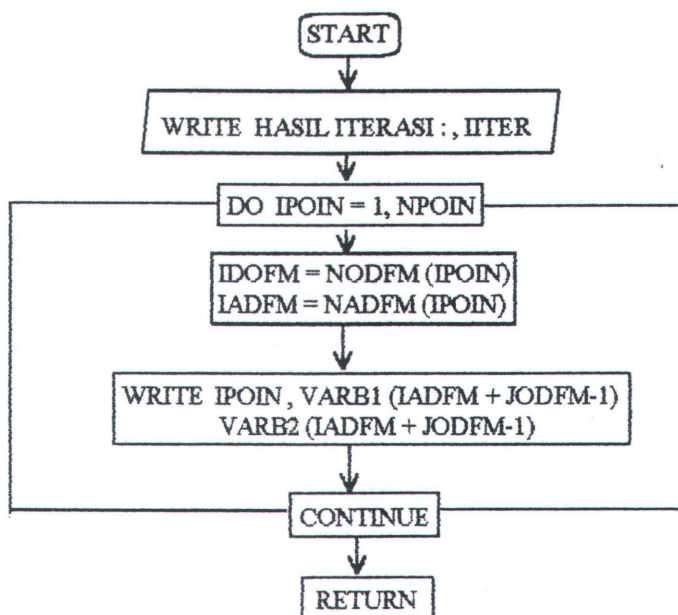
SUBROUTINE MATRIX

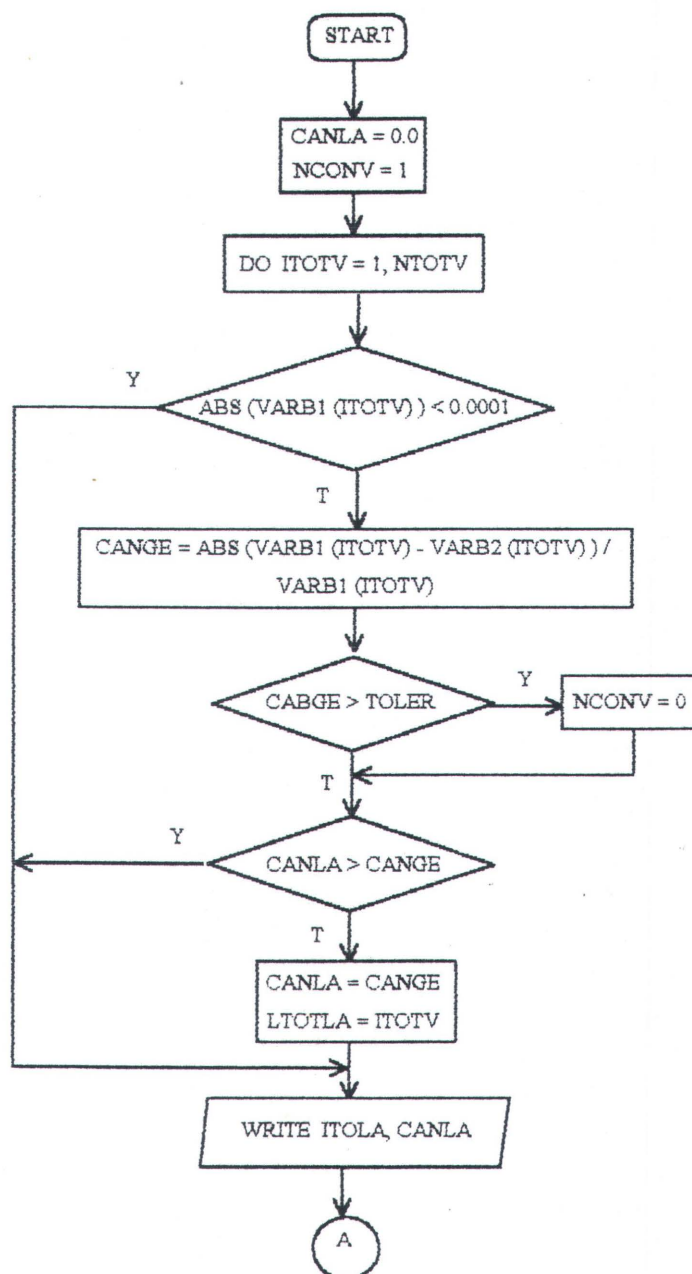


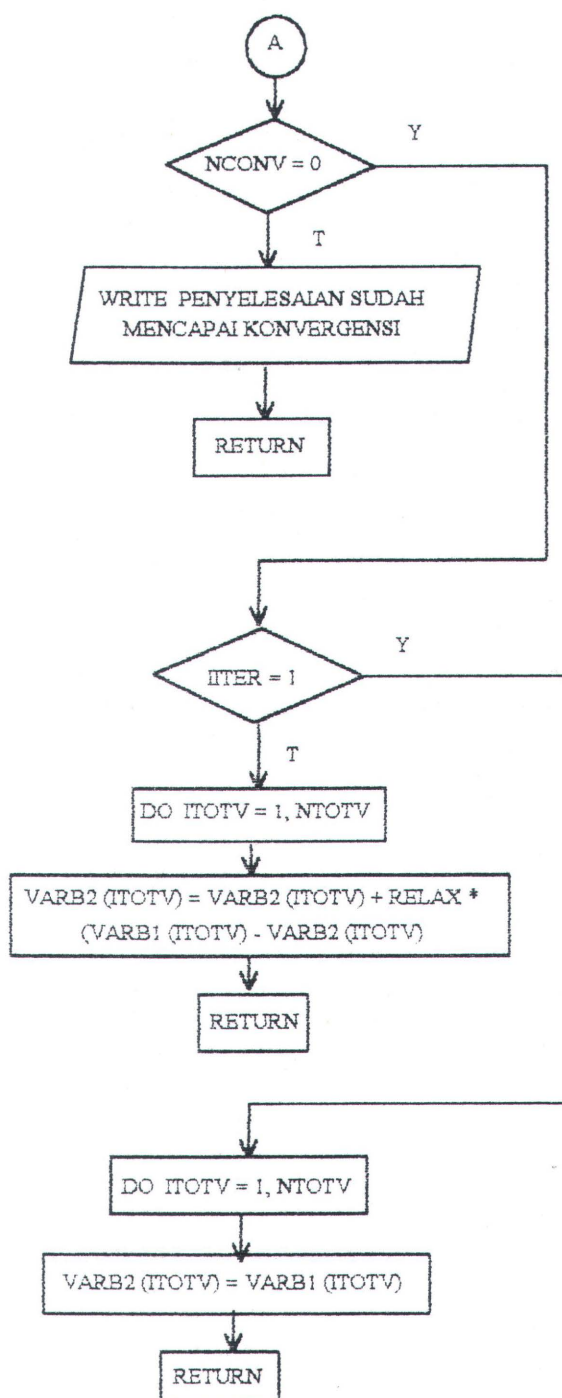






SUBROUTINE WRITER

SUBROUTINE TOLREL



```

c234567
c$noex
c$nowarn
c$nolist
c
c -----
c   P R O G R A M       F L U I D A
c   Modifikasi dari program Master Fluid
c   oleh : Taylor & Hughes (1981), Swansea, U.K.
c -----
c
c   subroutines luar :
c   DIMENS
c   DINPUT
c   DRIVES
c   ITERAT
c
c   dimension BOUDV(624), COORD(264,2), EQRHS(624), GFLUM(60,60),
c   .          GRADB(264,4), LBOUD(624), LHEDV(60), LNODS(73,8),
c   .          NADFM(264), NGRAD(73), NODFM(264), PNORM(60),
c   .          POSGP(3), VARB1(624), VARB2(624), WEIGP(3)
c
c   open (4,file='H1',form='unformatted')
c   open (10,file='H2',form='unformatted')
c   open (12,file='data.mas')
c   open (11,file='hasil.mas')
c
c   write (*,*)
c   write (*,*) '-----'
c   write (*,*) '          P R O G R A M          '
c   write (*,*) '          PEMODELAN ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA          '
c   write (*,*) '          METODE ELEMEN HINGGA GALERKIN          '
c   write (*,*) '          oleh :          '
c   write (*,*) '          Hermas Kornelius          '
c   write (*,*) '          Nrp.4914300222          '
c   write (*,*) '          Program Studi Teknik Kelautan          '
c   write (*,*) '          F T K   -   I T S          '
c   write (*,*) '-----'
c
c   harga-harga dimensi maksimum
c   -----
c
c   call DIMENS (MELEM,MFRON,MPOIN,MTOTV)

```

```

c      input data
c      -----
c      call DINPUT (BOUDV,COORD,DENSY,GRADB,IAXS,Y,LBOUD,LNODS,
.              MELEM,MPOIN,MTOTV,NADFM,NBCON,NDOFM,NELEM,
.              NEVAB,NGAUS,NGRAD,NITER,NNODL,NNODP,NODFM,
.              NPOIN,NTOTV,RELAX,TOLER,VARB1,VARB2,VISCY,
.              XFORC,YFORC)
c
c      menghitung harga-harga shape function dan turunannya
c      -----
c
c      call DRIVES (COORD,LNODS,MELEM,MPOIN,NELEM,NGAUS,NNODL,
.              NNODP,POSGP,WEIGP)
c
c      proses iterasi untuk konvergensi hasil
c      -----
c
c      call ITERAT (BOUDV,COORD,DENSY,EQRHS,GFLUM,GRADB,IAXS,Y,
.              LBOUD,LHEDV,LNODS,MELEM,MFRON,MPOIN,MTOTV,
.              NADFM,NBCON,NDOFM,NELEM,NEVAB,NGAUS,NGRAD,
.              NITER,NNODL,NNODP,NODFM,NPOIN,NTOTV,PNORM,
.              POSGP,RELAX,TOLER,VARB1,VARB2,VISCY,WEIGP,
.              XFORC,YFORC)
c
c      close(4)
c      close(10)
c      close(11)
c      close(12)
S      format (//////////)
c
c      stop
c      end
c
c      -----
c      subroutine DIMENS
c      -----
c
c      subroutine DIMENS (MELEM,MFRON,MPOIN,MTOTV)
c      MELEM=73
c      MFRON=60
c      MPOIN=264
c      MTOTV=624
c      return
c      end

```

```

C -----
C subroutine DINPUT
C -----
C
      subroutine DINPUT (BOUDV,COORD,DENSY,GRAB, IAXSY,LBOUD,LNODS,
-                      MELEM,MPOIN,MTOTV,NADFM,NBCON,NDOFM,NELEM,
-                      NEVAB,NGAUS,NGRAD,NITER,NNODL,NNODP,NODFM,
-                      NPOIN,NTOTV,RELAX,TOLER,VARB1,VARB2,VISCY,
-                      XFORC,YFORC)
      dimension BOUDV(MTOTV), COORD(MPOIN,2), GRAB(MPOIN,4),
-          LBOUD(MTOTV), LNODS(MELEM,8), NADFM(MPOIN),
-          NGRAD(MELEM), NODFM(MPOIN), TITLE(12),
-          VARB1(MTOTV), VARB2(MTOTV)
      NDOFM=3
      NEVAB=20
      NGAUS=3
      NNODL=4
      NNODP=8
      read (12,1000) TITLE
      write (11,2000) TITLE
      read (12,1010) IAXSY, NELEM, NITER, NPOIN, NRPON
      write (11,2010) IAXSY, NELEM, NITER, NPOIN, NRPON
      read (12,1010) NICON, NBCON, NEBCN, NNBCN
      write (11,2020) NICON, NBCON, NEBCN, NNBCN
      call DIAGN1 (NBCON,NEBCN,NELEM,NICON,NNBCN,NPOIN,NRPON)
      read (12,1020) DENSY,RELAX,TOLER,VISCY,XFORC,YFORC
      write (11,2030) DENSY,RELAX,TOLER,VISCY,XFORC,YFORC
      do 10 IPOIN=1,NPOIN
      DO 10 IDIME=1,2
      COORD(IPOIN,IDIME)=0.0
10  continue
      do 20 IPOIN=1,NRPON
      read (12,1030) JPOIN, (COORD(JPOIN,IDIME),IDIME=1,2)
20  continue
      write (11,2040)
      do 30 IELEM=1,NELEM
      NGRAD (IELEM) = 0
      read (12,1010) JELEM, (LNODS(JELEM,INODP),INODP=1,NNODP)
      write (11,2050) JELEM, (LNODS(JELEM,INODP),INODP=1,NNODP)
30  continue
      ITEMP=NNODP-1
      do 40 IELEM=1,NELEM
      do 40 INODP=1,ITEMP,2
      NODFM (LNODS(IELEM,INODP)) = NDOFM

```



```

      NODFM (LNODS (IELEM, INODP+1)) = NDOFM-1
40  continue
      do 70 IELEM=1, NELEM
      do 60 INODP=2, NNODP, 2
      IPOIN = LNODS (IELEM, INODP)
      TEMPY = abs (COORD (IPOIN, 1)) + abs (COORD (IPOIN, 2))
      if (TEMPY.NE.0.0) go to 60
      JPOIN=LNODS (IELEM, INODP-1)
      KNODP=INODP+1
      if (KNODP.GT.NNODP) KNODP=1
      KPOIN = LNODS (IELEM, KNODP)
      do 50 IDIME=1, 2
      COORD (IPOIN, IDIME) = (COORD (JPOIN, IDIME)+COORD (KPOIN, IDIME))*0.5
50  continue
60  continue
70  continue
      NADFM(1)=1
      DO 80 IPOIN=2, NPOIN
      NADFM(IPOIN) = NADFM(IPOIN-1) + NODFM(IPOIN-1)
80  continue
      NTOTV = NADFM(NPOIN) + NODFM(NPOIN) - 1
      do 90 ITOTV=1, NTOTV
      LBOUD (ITOTV)=0
      BOUDV (ITOTV)=0
      VARB1 (ITOTV)=0
      VARB2 (ITOTV)=0
90  continue
      if (NICON.EQ.0) go to 110
      do 100 IICON=1, NICON
      read (12, 1040) IPOIN, IDOFM, TEMPY
      if (IDOFM.GT.1) IDOFM=NODFM (IPOIN)
      JTOTV = NADFM (IPOIN) + IDOFM - 1
      VARB1 (JTOTV)=TEMPY
      VARB2 (JTOTV)=TEMPY
100 continue
110 continue
      write (11, 2060)
      do 130 IPOIN=1, NPOIN
      if (NODFM (IPOIN).NE.NDOFM) go to 120
      write (11, 2070) IPOIN, NADFM (IPOIN), NODFM (IPOIN),
      .(COORD (IPOIN, IDIME), IDIME=1, 2),
      .(VARB1 (NADFM (IPOIN)-1+IDOFM), IDOFM=1, NODFM (IPOIN))
      go to 130
120 continue

```

```

        write (11,2080) IPOIN, NADFM(IPOIN), NODFM(IPOIN),
        .(COORD(IPOIN,IDIME), IDIME=1,2),
        .(VARB1 (NADFM (IPOIN)-1+IODFM), IODFM=1, NODFM(IPOIN))
130    continue
        call DIAGN2 (COORD, DENSY, LNODS, MELEM, MPOIN, NELEM, NICON,
        .
            NNODP, NPOIN, NTOTV, VISCY)
        write (11,2090)
        do 170 IBCON=1,NBCON
        read (12,1040) IPOIN, IDOFM, BVALU
        ITOTV = NADFM(IPOIN)+IDOFM-1
        if (IDOFM.GT.NODFM(IPOIN)) ITOTV=ITOTV-1
        LBOUD(ITOTV)=1
        BOUDV(ITOTV)=BVALU
        go to (140,150,160) IDOFM
140    continue
        write (11,2100) IPOIN, BVALU
        go to 170
150    continue
        write (11,2110) IPOIN, BVALU
        if (NODFM(IPOIN).NE.IDOFM) go to 170
        write (*,2120) IBCON, IPOIN
        stop
160    continue
        write (11,2130) IPOIN, BVALU
170    continue
        if (NEBCN.EQ.0) return
        write (11,2140)
        do 180 IEBCN=1,NEBCN
        read (12,1010) IELEM, NGRAD(IELEM)
        write (11,2150) IELEM, NGRAD(IELEM)
180    continue
        write (11,2160)
        do 190 IPOIN=1,NPOIN
        do 190 IGRAD=1,4
        GRADB(IPOIN,IGRAD)=0.0
190    continue
        do 240 INBCN=1,NNBCN
        read (12,1040) IPOIN, IGRAD, GRADB(IPOIN,IGRAD)
        go to (200,210,220,230) IGRAD
200    continue
        write (11,2100) IPOIN, GRADB(IPOIN,IGRAD)
        go to 240
210    continue
        write (11,2110) IPOIN, GRADB(IPOIN,IGRAD)

```

```

        go to 240
220    continue
        write (11,2130) IPOIN, GRADE(IPOIN,IGRAD)
        go to 240
230    continue
        write (11,2170) IPOIN, GRADE(IPOIN,IGRAD)
240    continue
        return
1000   format (20A4)
1010   format (10I5)
1020   format (10F10.5)
1030   format (I5,10F6.4)
1040   format (2I5,10F6.4)
2000   format (/1X,20A4)
2010   format (//13H DATA KONTROL,/13H -----,/,
        .8H IAXSY =,I4,4X, 8H NELEM =,I4,4X, 8H NITER =,I4,4X,
        .8H NPOIN =,I4,4X, 8H NRPON =,I4)
2020   format (8H NICON =,I4,4X, 8H NBCON =,I4,4X,
        .8H NEBCN =,I4,4X, 8H NNBCN =,I4)
2030   format (//13H SIFAT FISIK,/13H ----- ,
        .// 8H DENSY =,F10.5,4X, 8H RELAX =,F10.5 ,4X, 8H TOLER =,F10.5,
        ./ 8H VISCY =,F10.5,4X, 8H XFORC =,F10.5 ,4X, 8H YFORC =,F10.5)
2040   format (//17H TOPOLOGI ELEMEN,/17H ----- ,/,
        .8H ELEMENT, 6X, 13H NODE NUMBERS)
2050   format (1X,I5,6X,8I5)
2060   format (//16H KOORDINAT NODE,/16H ----- ,/,
        .34H NODE DOF NDOF X-COORD Y-COORD,5X,
        .25H U-VEL PRESSURE Y-VEL)
2070   format (3(I4,1X),5(F9.4,1X))
2080   format (3(I4,1X),3(F9.4,1X),10X,F9.4)
2090   format (//13H SYARAT BATAS,/13H ----- ,/,
        .35H NODE U-FIXED PRESSURE V-FIXED)
2100   format (I5,F9.4)
2110   format (I5,10X,F9.4)
2120   format (/26H ERROR!! SYARAT BATAS NO. ,I4,
        .45H DEFINISIKAN PRESSURE PADA TENGAH NODE NOMOR ,I4)
2130   format (I5,20X,F9.4)
2140   format (/15H HARGA TURUNAN,/15H ----- ,/,
        .13H SISI ELEMEN )
2150   format (I5,3X,I5)
2160   format (//44H NODE DU/DX DU/DY DV/DX DV/DY )
2170   format (I5,30X,F9.4)
        end

```

```

c -----
c subroutine DIAGN1
c -----
c
      subroutine DIAGN1 (NBCON, NEBCN, NELEM, NICON, NNBCN, NPOIN, NRPON)
      dimension NECHO(80), NEROR(8)
      do 10 IEROR=1,8
10    NEROR(IEROR)=0
      if (NPOIN.LE.0) NEROR(1)=1
      if (NRPON.LE.0.OR.NRPON.GT.NPOIN) NEROR(2)=1
      if (NELEM.LE.0) NEROR(3)=1
      if (NPOIN.GT.NELEM*8) NEROR(4)=1
      if (NBCON.GT.NPOIN*3) NEROR(5)=1
      if (NICON.GT.NPOIN*3) NEROR(6)=1
      if (NEBCN.GT.NELEM) NEROR(7)=1
      if (NNBCN.GT.NPOIN*4) NEROR(8)=1
      JEROR=0
      do 20 IEROR=1,8
      if (NEROR(IEROR).EQ.0) go to 20
      JEROR=1
      write (*,2000) IEROR
20    continue
      if (JEROR.EQ.0) return
      write (*,2010)
30    continue
      read (12,1000) NECHO
      write (11,2020) NECHO
      go to 30
1000 format (80A1)
2000 format (/ ,10X,22H ADA KESALAHAN PADA : ,I5)
2010 format (/ ,10X,21H INPUTNYA SALAH DUL !/)
2020 format (10X,80A1)
      end
c -----
c subroutine DIAGN2
c -----
c
      subroutine DIAGN2 (COORD, DENSY, LNODS, MELEM, MPOIN, NELEM,
      NICON, NNODP, NPOIN, NTOTV, VISCY)
      dimension COORD(MPOIN,2), LNODS(MELEM,8), NECHO(80), NEROR(13)
      do 10 IEROR=1,13
      NEROR(IEROR)=0
10    continue

```



```

      if (DENSY.LE.0.OR.VISCY.LE.0)      NEROR(9)=1
      do 40 IPOIN=2,NPOIN
      JPOIN=IPOIN-1
      do 30 KPOIN=1,JPOIN
      if (COORD(IPOIN,1).NE.COORD(KPOIN,1).OR.COORD(IPOIN,2).
.NE.COORD(KPOIN,2)) go to 20
      NEROR(10)=1
20    continue
30    continue
40    continue
      do 50 IPOIN=1,NPOIN
      do 50 IELEM=1,NELEM
      LCONT=0
      do 50 INODE=1,NNODP
      if (LNODS(IELEM,INODE).NE.IPOIN) go to 50
      LCONT=LCONT+1
      if (LCONT.GT.1) NEROR(11)=1
50    continue
      do 60 IELEM=1,NELEM
      do 60 INODE=1,NNODP
      if (LNODS(IELEM,INODE).LE.0.OR.LNODS(IELEM,INODE).GT.NPOIN)
.NEROR(12)=1
60    continue
      if (NICON.GT.NTOTV)      NEROR(13)=1
      JEROR=0
      do 70 IEROR=9,13
      if (NEROR(IEROR).EQ.0) go to 70
      JEROR=1
      write (*,2000) IEROR
70    continue
      if (JEROR.EQ.0) return
      write (11,2010)
80    continue
      read (12,1000) NECHO
      write (11,2020) NECHO
      go to 80
1000  format (80A1)
2000  format (/10X, 11H DATA SALAH,I5)
2010  format (/10X, 17H DATA SELANJUTNYA/)
2020  format (10X, 80A1)
      end

```

```

c -----
c subroutine DRIVES
c -----
c
c      subroutine DRIVES (COORD, LNODS, MELEM, MPOIN, NELEM, NGAUS, NNODL
c      , NNODP, POSGP, WEIGP)
c -----
c      subroutines luar
c          SHAPE8
c          SHAPE4
c          DJACOB
c -----
c      dimension AREAW(9), CARLG(2,36), CARPG(2,72), CARTP(2,8),
c      , DERIV(2,8), DJACI(2,2), DJACK(2,2), POSGP(3),
c      , SHALG(36), SHAPE(8), SHAPG(72), WEIGP(3),
c      , COORD(MPOIN,2), LNODS(MELEM,8)
c
c      rewind 10
c      POSGP(1) = 0.7745966692
c      POSGP(2) = 0.0
c      POSGP(3) = -POSGP(1)
c      WEIGP(1) = 0.555555555556
c      WEIGP(2) = 0.888888888889
c      WEIGP(3) = WEIGP(1)
c      do 60 IELEM=1,NELEM
c      LGAUS=0
c      do 50 IGAUS=1,NGAUS
c      do 50 JGAUS=1,NGAUS
c      LGAUS=LGAUS+1
c      XEQIV=POSGP(IGAUS)
c      YEQIV=POSGP(JGAUS)
c      call SHAPE8 (DERIV, SHAPE, XEQIV, YEQIV)
c      call DJACOB (COORD, DERIV, DETJB, DJACI, DJACK, IELEM, LNODS,
c      , MELEM, MPOIN, NNODP)
c
c      do 10 IDIME=1,2
c      do 10 INODP=1,NNODP
c      CARTP(IDIME,INODP)=0
c      do 10 JDIME=1,2
c      CARTP(IDIME,INODP)=CARTP(IDIME,INODP)+
c      ,DJACI(IDIME,JDIME)*DERIV(JDIME,INODP)
10  continue
c      AREAW(LGAUS)=DETJB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)
c      do 20 INODP=1,NNODP
c      KGAPA=(LGAUS-1)*NNODP+INODP
c      SHAPG(KGAPA)=SHAPE(INODP)

```

```

do 20 IDIME=1,2
  CARPG(IDIME,KGAPA)=CARTP(IDIME,INODP)
20 continue
  call SHAPE4 (DERIV, SHAPE, XEQIV, YEQIV)
  do 30 IDIME=1,2
    do 30 INODL=1,NNODL
      CARTP(IDIME,INODL)=0
      do 30 JDIME=1,2
        CARTP(IDIME,INODL)=CARTP(IDIME,INODL)+
.DJACI(IDIME,JDIME)*DERIV(JDIME,INODL)
30 continue
  do 40 INODL=1,NNODL
    KGALI=(LGAUS-1)*NNODL+INODL
    SHALG(KGALI)=SHAPE(INODL)
    do 40 IDIME=1,2
      CARLG(IDIME,KGALI)=CARTP(IDIME,INODL)
40 continue
50 continue
  NGAPA=LGAUS*NNODP
  NGALI=LGAUS*NNODL
  write (10) IELEM, LGAUS, NGAPA, NGALI,
  .((CARPG(IDIME,IGAPA), IDIME=1,2),SHAPG(IGAPA), IGAPA=1,NGAPA),
  .((CARLG(IDIME,IGALI), IDIME=1,2),SHALG(IGALI), IGALI=1,NGALI),
  .(AREAW(IGAUS), IGAUS=1,LGAUS)
60 continue
  return
end

c
c -----
c  subroutine SHAPE8
c  -----
c
c  subroutine SHAPE8 (DERIV, SHAPE, XEQIV,YEQIV)
c  dimension DERIV(2,8), SHAPE(8)
c
c  elemen parabolik dengan penomoran berlawanan arah jarum jam
c  -----
c
c  X=XEQIV
c  Y=YEQIV
c  XY=X*Y
c  XX=X*X
c  YY=Y*Y
c  XXY=XX*Y

```

```

    XXX=X*YY
    X2=X*2
    Y2=Y*2
    XY2=XY*2
    SHAPE(1) = (-1+XY+XX+YY-XXY-YYY)*0.25
    SHAPE(2) = (1-Y-XX+XXY)*0.5
    SHAPE(3) = (-1-XY+XX+YY-XXY+YYY)*0.25
    SHAPE(4) = (1+X-YY-XY)*0.5
    SHAPE(5) = (-1+XY+XX+YY+XXY+YYY)*0.25
    SHAPE(6) = (1+Y-XX-XXY)*0.5
    SHAPE(7) = (-1-XY+XX+YY+XXY-YYY)*0.25
    SHAPE(8) = (1-X-YY+XY)*0.5
    DERIV(1,1) = (Y+X2-XY2-YY)*0.25
    DERIV(1,2) = -X+XY
    DERIV(1,3) = (-Y+X2-XY2+YY)*0.25
    DERIV(1,4) = (1-YY)*0.5
    DERIV(1,5) = (Y+X2+XY2+YY)*0.25
    DERIV(1,6) = -X-XY
    DERIV(1,7) = (-Y+X2+XY2-YY)*0.25
    DERIV(1,8) = (-1+YY)*0.5
    DERIV(2,1) = (X+Y2-XX-XY2)*0.25
    DERIV(2,2) = (-1+XX)*0.5
    DERIV(2,3) = (-X+Y2-XX+XY2)*0.25
    DERIV(2,4) = -Y-XY
    DERIV(2,5) = (X+Y2+XX+XY2)*0.25
    DERIV(2,6) = (1-XX)*0.5
    DERIV(2,7) = (-X+Y2+XX-XY2)*0.25
    DERIV(2,8) = -Y+XY
    return
end

```

```

c
c
c
c
c

```

```

subroutine DJACOB

```

```

subroutine DJACOB (COORD, DERIV, DETJB, DJACI, DJACK, IELEM,
.               LNODS, MELEM, MPOIN, NNODP)
dimension COORD(MPOIN,2), DERIV(2,8), DJACI(2,2), DJACK(2,2),
.               LNODS (MELEM,8)
do 20 IDIME=1,2
do 20 JDIME=1,2
TEMPY=0.0
do 10 INODP=1,NNODP
KPOIN=IABS (LNODS (IELEM, INODP))

```



```

      TEMPY=TEMPY+DERIV(IDIME,INODP)*COORD(KPOIN,JDIME)
10  continue
      DJACK(IDIME,JDIME)=TEMPY
20  continue
      DETJB=DJACK(1,1)*DJACK(2,2)-DJACK(2,1)*DJACK(1,2)
      if (DETJB) 30,30,40
30  continue
      write (*,2000) IELEM
      stop
40  continue
      DJACI(1,1) = DJACK(2,2)/DETJB
      DJACI(2,2) = DJACK(1,1)/DETJB
      DJACI(1,2) = -DJACK(1,2)/DETJB
      DJACI(2,1) = -DJACK(2,1)/DETJB
2000 format (//36H DETERMINAN NOL/NEGATIF PADA ELEMEN ,I4)
      return
      end

c
c -----
c  subroutine SHAPE4
c -----
c
c  subroutine SHAPE4 (DERIV, SHAPE, XEQIV, YEQIV)
c  dimension DERIV(2,8), SHAPE(8)
c
c  elemen linier dengan penomoran berlawanan arah jarum jam
c  -----
c
      X=XEQIV
      Y=YEQIV
      XY=X*Y
      SHAPE(1) = (1-X-Y+XY)*0.25
      SHAPE(2) = (1+X-Y-XY)*0.25
      SHAPE(3) = (1+X+Y+XY)*0.25
      SHAPE(4) = (1-X+Y-XY)*0.25
      DERIV(1,1) = (-1+Y)*0.25
      DERIV(1,2) = ( 1-Y)*0.25
      DERIV(1,3) = ( 1+Y)*0.25
      DERIV(1,4) = (-1-Y)*0.25
      DERIV(2,1) = (-1+X)*0.25
      DERIV(2,2) = (-1-X)*0.25
      DERIV(2,3) = ( 1+X)*0.25
      DERIV(2,4) = ( 1-X)*0.25
      return

```

```

end

C
C -----
C  subroutine ITERAT
C  -----
C
      subroutine ITERAT (BOUDV, COORD, DENSY, EQRHS, GFLUM, GRADB,
-                               IAXSY, LBOUD, LHEDV, LNODS, MELEM, MFRON,
-                               MPOIN, MTOTV, NADFM, NBCON, NDOFM, NELEM,
-                               NEVAB, NGAUS, NGRAD, NITER, NNODL, NNODP,
-                               NODFM, NPOIN, NTOTV, PNORM, POSGP, RELAX,
-                               TOLER, VARB1, VARB2, VISCY, WEIGP, XFORC,
-                               YFORC)

C
C -----
C  subroutine luar :
C      PRESKR
C      FRONTS
C      WRITER
C      TOLREL
C  -----
C
      dimension COORD(MPOIN,2), BOUDV(MTOTV), EQRHS(MTOTV), NGRAD(MELEM),
-             GFLUM(MFRON,MFRON), GRADE(MPOIN,4), LBOUD(MTOTV),
-             NADFM(MPOIN), NODFM(MPOIN), PNORM(MFRON), VARB1(MTOTV),
-             LHEDV(MFRON), LNODS(MELEM,8), VARB2(MTOTV), POSGP(3),
-             WEIGP(3)

      IITER=0
10  continue
      IITER=IITER+1
      do 20 ITOTV=1,NTOTV
          EQRHS(ITOTV)=0.0
20  continue
      do 30 IELEM=1,NELEM
          if (NGRAD(IELEM).EQ.0) go to 30
          call PRESKR (COORD, EQRHS, GRADE, IAXSY, IELEM, LNODS, MELEM,
-                   MPOIN, MTOTV, NADFM, NGAUS, NGRAD, NNODP, NODFM,
-                   POSGP, VISCY, WEIGP)
30  continue
      call FRONTS (BOUDV, COORD, DENSY, EQRHS, GFLUM, IAXSY, IITER,
-               LBOUD, LHEDV, LNODS, MELEM, MFRON, MPOIN, MTOTV,
-               NADFM, NBCON, NELEM, NEVAB, NNODL, NNODP, NODFM,
-               NPOIN, NTOTV, PNORM, VARB1, VARB2, VISCY, XFORC,
-               YFORC)

```

```

      call WRITER (IITER, MPOIN, MTOTV, NADFM, NDOFM, NODFM, NPOIN,
      .           VARB1, VARB2)
      call TOLREL (IITER, MTOTV, NCONV, NTOTV, RELAX, TOLER, VARB1,
      .           VARB2)
      if (NCONV.EQ.1) return
      if (IITER.LT.NITER) go to 10
      write (*,2000)
2000 format (//42H PENYELESAIAN TIDAK MENCAPAI KONVERGENSI !)
      return
      end

C
C -----
C subroutine PRESER
C -----
C
      subroutine PRESER (COORD, EQRHS, GRADB, IAXSY, IELEM, LNODS,
      .                 MELEM, MPOIN, MTOTV, NADFM, NGAUS, NGRAD,
      .                 NNODP, NODFM, POSGP, VISCY, WEIGP)

C
C -----
C subroutine luar
C   SURFIN
C -----
C
      dimension COORD(MPOIN,2), EQRHS(MTOTV), GRADB(MPOIN,4),
      .         LNODS(MELEM,8), NADFM(MPOIN), NGRAD(MELEM),
      .         NODFM(MPOIN), SHAPE(8)
      ISIDE=NGRAD(IELEM)
      do 30 IGAUS=1,NGAUS
      call SURFIN(COORD, COSLX, COSLY, IELEM, IGAUS, ISIDE, LNODS,
      .         MELEM, MPOIN, NNODP, POSGP, SHAPE, SLETH, WEIGP)
      TDUDN=0
      RADUS=0
      TDVDN=0
      do 10 INODP=1,NNODP
      KPOIN=IABS(LNODS(IELEM,INODP))
      TDUDN=TDUDN+VISCY*SHAPE(INODP)*
      .   (GRADB(KPOIN,1)*COSLX+GRADB(KPOIN,2)*COSLY)
      RADUS=RADUS+SHAPE(INODP)*COORD(KPOIN,2)
      TDVDN=TDVDN+VISCY*SHAPE(INODP)*
      .   (GRADB(KPOIN,3)*COSLX+GRADB(KPOIN,4)*COSLY)
10 continue
      if (IAXSY.EQ.1) SLETH=SLETH*RADUS
      do 20 INODP=1,NNODP

```

```

      KPOIN=IABS(LNODS(IELEM,INODP))
      ITOTU=NADFM(KPOIN)
      ITOTV=ITOTU+NODFM(KPOIN)-1
      EQRHS(ITOTU)=EQRHS(ITOTU)+SHAPE(INODP)*TDUDN*SLETH
      EQRHS(ITOTV)=EQRHS(ITOTV)+SHAPE(INODP)*TDVDN*SLETH
20    continue
30    continue
      return
      end

c
c -----
c  subroutine SURFIN
c -----
c
      subroutine SURFIN (COORD, COSLX, COSLY, IELEM, IGAUS, ISIDE,
-                          LNODS, MELEM, MPOIN, NNODP, POSGP, SHAPE,
-                          SLETH, WEIGP)
c -----
c  subroutine luar :
c      SHAPE8
c      DJACOB
c -----
      dimension DERIV(2,8), DJACI(2,2), DJACK(2,2), POSGP(3),
-          WEIGP(3)
      go to (10,20,30,40), ISIDE
10    continue
      XEQIV=-1.0
      YEQIV=POSGP(IGAUS)
      ITEMP=2
      RTEMP=-1.0
      go to 50
20    continue
      XEQIV=POSGP(IGAUS)
      YEQIV=1.0
      ITEMP=1
      RTEMP=-1.0
      go to 50
30    continue
      XEQIV=1.0
      YEQIV=POSGP(IGAUS)
      ITEMP=2
      RTEMP=1.0
      go to 50
40    continue

```



```

XEQIV=POSGP(IGAUS)
YEQIV=-1.0
ITEMP=1
RTEMP=1.0
50  continue
    call SHAPE8 (DERIV, SHAPE, XEQIV, YEQIV)
    call DJACOB (COORD, DERIV, DETJB, DJACI, DJACK, IELEM,
                LNODS, MELEM, MPOIN, NNODP)
    TEMPY=SQRT(DJACK(ITEMP,1)**2+DJACK(ITEMP,2)**2)
    COSLX=RTEMP*DJACK(ITEMP,2)/TEMPY
    COSLY=-RTEMP*DJACK(ITEMP,1)/TEMPY
    SLETH=TEMPY*WEIGP(IGAUS)
    return
    end

c
c  -----
c  subroutine FRONTS
c  -----
c
    subroutine FRONTS (BOUDV, COORD, DENSY, EQRHS, GFLUM, IAXSY,
-                      IITER, LBOUD, LHEDV, LNODS, MELEM, MFRON,
-                      MPOIN, MTOTV, NADFM, NBDON, NELEM, NEVAB,
-                      NNODL, NNODP, NODFM, NPOIN, NTOTV, PNORM,
-                      VARB1, VARB2, VISCY, XFORC, YFORC)

c  -----
c  subroutine luar :
c      MATRIX
c  -----
c

    dimension BOUDV(MTOTV), EQRHS(MTOTV), FLUMX(20,20), GFLUM(MFRON,
-                      MFRON), LBOUD(MTOTV), LHEDV(MFRON), LNODS(MELEM,8),
-                      NADFM(MPOIN), NODFM(MPOIN), PNORM(MFRON), LOCEL(20),
-                      VARB1(MTOTV), VARB2(MTOTV), COORD(MPOIN,2), NDEST(20)

    if (IITER.GT.1) go to 40
    do 30 IPOIN=1,NPOIN
    LASTE=0
    do 20 IELEM=1,NELEM
    do 10 INODP=1,NNODP
    if (LNODS(IELEM,INODP).NE.IPOIN) go to 10
    LASTE=IELEM
    LASTN=INODP
    go to 20
10  continue
20  continue

```

```

      LNODS(LASTE, LASTN) = -IPOIN
30  continue
40  continue
      rewind 4
      rewind 10
      NCRIT = MFRON - NEVAB
      NFRON = 0
      do 50 IFRON = 1, MFRON
      do 50 JFRON = 1, MFRON
          GFLUM(IFRON, JFRON) = 0.0
50  continue
      KELEM = 0
60  continue
      KELEM = KELEM + 1
      call MATRIX (COORD, DENSY, EQRHS, FLUMX, IAXSY, LNODS, MELEM,
-          MPOIN, MTOTV, NADFM, NEVAB, NNODL, NNODP, NODFM,
-          VARB2, VISCY, XFORC, YFORC)
      KEVAB = 0
      do 70 INODP = 1, NNODP
          KPOIN = LNODS(KELEM, INODP)
          IADFM = NADFM(IABS(KPOIN))
          LODFM = NODFM(IABS(KPOIN))
          do 70 IODFM = 1, LODFM
              KEVAB = KEVAB + 1
              LOCEL(KEVAB) = IADFM + IODFM - 1
              if (KPOIN.LT.0) LOCEL(KEVAB) = -LOCEL(KEVAB)
70  continue
      do 120 IEVAB = 1, NEVAB
          KTOTV = LOCEL(IEVAB)
          if (NFRON.EQ.0) go to 90
          do 80 IFRON = 1, NFRON
              KFRON = IFRON
              if (IABS(KTOTV).EQ.IABS(LHEDV(KFRON))) go to 110
80  continue
90  continue
      NFRON = NFRON + 1
      if (NFRON.LE.MFRON) go to 100
      write (*, 2000)
      stop
100 continue
      NDEST(IEVAB) = NFRON
      LHEDV(NFRON) = KTOTV
      go to 120
110 continue

```

```

NDEST(IEVAB)=KFRON
LHEDV(KFRON)=KTOTV
120 continue
do 130 IEVAB=1,NEVAB
IFRON=NDEST(IEVAB)
do 130 JEVAB=1,NEVAB
JFRON=NDEST(JEVAB)
GFLUM(JFRON,IFRON)=GFLUM(JFRON,IFRON)+FLUMX(JEVAB,IEVAB)
130 continue
if (NFRON.LT.NCRIT.AND.KELEM.LT.NELEM) go to 60
140 continue
NFSUM=0
PIVOT=0
do 170 IFRON=1,NFRON
if (LHEDV(IFRON).GE.0) go to 170
NFSUM=1
if (LBOUD(IABS(LHEDV(IFRON))).NE.1) go to 160
KTOTV=IABS(LHEDV(IFRON))
LBOUD(KTOTV)=-1
EQRHS(KTOTV)=BOUDV(KTOTV)
do 150 LFRON=1,NFRON
GFLUM(IFRON,LFRON)=0.0
150 continue
GFLUM(IFRON,IFRON)=1.0
160 continue
PIVOG=GFLUM(IFRON,IFRON)
if (ABS(PIVOG).LT.ABS(PIVOT)) go to 170
PIVOT=PIVOG
LPIVT=IFRON
170 continue
if (NFSUM.EQ.0) go to 60
KTOTV=IABS(LHEDV(LPIVT))
if (ABS(PIVOT).GT.1E-08) go to 180
write (*,2010) KTOTV, PIVOT
stop
180 continue
do 190 IFRON=1,NFRON
PNORM(IFRON)=GFLUM(LPIVT,IFRON)/PIVOT
190 continue
RHSID=EQRHS(KTOTV)/PIVOT
EQRHS(KTOTV)=RHSID
if (LPIVT.EQ.1) go to 250
do 240 IFRON=1,LPIVT-1
FACOR=GFLUM(IFRON,LPIVT)

```

```

        if (FACOR.EQ.0) go to 210
        do 200 JFRON=1,LPIVT-1
            GFLUM(IFRON,JFRON)=GFLUM(IFRON,JFRON)-FACOR*PNORM(JFRON)
200    continue
210    continue
        if (LPIVT.EQ.NFRON) go to 230
        do 220 JFRON=LPIVT+1,NFRON
            GFLUM(IFRON,JFRON-1)=GFLUM(IFRON,JFRON)-FACOR*PNORM(JFRON)
220    continue
230    continue
        ITOTV=IABS(LHEDV(IFRON))
        EQRHS(ITOTV)=EQRHS(ITOTV)-FACOR*RHSID
240    continue
250    continue
        if (LPIVT.EQ.NFRON) go to 300
        do 290 IFRON=LPIVT+1,NFRON
            FACOR=GFLUM(IFRON,LPIVT)
            if (LPIVT.EQ.1) go to 270
            do 260 JFRON=1,LPIVT-1
                GFLUM(IFRON-1,JFRON)=GFLUM(IFRON,JFRON)-FACOR*PNORM(JFRON)
260    continue
270    continue
            do 280 JFRON=LPIVT+1,NFRON
                GFLUM(IFRON-1,JFRON-1)=GFLUM(IFRON,JFRON)-FACOR*PNORM(JFRON)
280    continue
            ITOTV=IABS(LHEDV(IFRON))
            EQRHS(ITOTV)=EQRHS(ITOTV)-FACOR*RHSID
290    continue
300    continue
        if (LBOUD(KTOTV).NE.0) go to 310
        write (4) NFRON, LPIVT, (LHEDV(IFRON), PNORM(IFRON), IFRON=1,
            NFRON)
310    continue
        do 320 IFRON=1,NFRON
            GFLUM(IFRON,NFRON)=0
            GFLUM(NFRON,IFRON)=0
320    continue
        if (LPIVT.EQ.NFRON) go to 340
        do 330 IFRON=LPIVT,NFRON-1
            LHEDV(IFRON)=LHEDV(IFRON+1)
330    continue
340    continue
        NFRON=NFRON-1
        if (NFRON.GT.NCRIT) go to 140

```



```

      if (KELEM.LT.NELEM) go to 60
      if (NFRON.GT.0) go to 140
      do 350 ITOTV=1,NTOTV
      VARB1(ITOTV)=BOUDV(ITOTV)
      LBOUD(ITOTV)=-LBOUD(ITOTV)
350  continue
      do 370 ITOTV=1,NTOTV-NBCON
      backspace 4
      read (4) NFRON, LPIVT, (LHEDV(IFRON), PNORM(IFRON), IFRON=1,
      NFRON)
      KTOTV=IABS(LHEDV(LPIVT))
      TEMPR=0.0
      PNORM(LPIVT)=0.0
      do 360 IFRON=1,NFRON
      TEMPR=TEMPR-PNORM(IFRON)*VARB1(IABS(LHEDV(IFRON)))
360  continue
      VARB1(KTOTV)=EQRHS(KTOTV)+TEMPR
      backspace 4
370  continue
      return
2000 format (//,49H PROGRAM TERHENTI KARENA FRONTWIDTH TERLALU KECIL)
2010 format (//,31H PROGRAM TERHENTI PADA KONDISI ,//,
.14H D.O.FREEDOM ,I4,/,20H DENGAN HARGA PIVOT ,E9.2)
      end

c
c -----
c  subroutine MATRIX
c  -----
c
      subroutine MATRIX (COORD, DENSY, EQRHS, FLUMX, IAXSY, LNODS,
      MELEM, MPOIN, MTOTV, NADFM, NEVAB, NNODL,
      NNODP, NODFM, VARB2, VISCY, XFORC, YFORC)
      dimension AREAW(9), CARLG(2,36), CARPG(2,72), CARTL(2,4),
      CARTP(2,8), COORD(MPOIN,2), EQRHS(MTOTV), ERHSU(8),
      ERHSV(8), FLUMX(20,20), LNODS(MELEM,8), NADFM(MPOIN),
      NODFM(MPOIN), SHALG(36), SHAPG(72), SHAPL(4), SHAPP(8),
      VARB2(MTOTV)
      do 10 INODP=1,NNODP
      ERHSU(INODP)=0.0
      ERHSV(INODP)=0.0
10  continue
      do 20 IEVAB=1,NEVAB
      do 20 JEVAB=1,NEVAB
      FLUMX(IEVAB,JEVAB)=0.0

```

```

20  continue
    read (10) IELEM, LGAUS, NGAPA, NGALI,
    .((CARPG(IDIME,IGAPA), IDIME=1,2), SHAPG(IGAPA), IGAPA=1,NGAPA),
    .((CARLG(IDIME,IGALI), IDIME=1,2), SHALG(IGALI), IGALI=1,NGALI),
    .(AREAW(IGAUS), IGAUS=1,LGAUS)
    do 100 IGAUS=1,LGAUS
        DAREA=AREAW(IGAUS)
    do 30 INODP=1,NNODP
        SHAPP(INODP)=SHAPG(NNODP*(IGAUS-1)+INODP)
    do 30 IDIME=1,2
        CARTP(IDIME,INODP)=CARPG(IDIME,NNODP*(IGAUS-1)+INODP)
30  continue
    do 40 INODL=1,NNODL
        SHAPL(INODL)=SHALG(NNODL*(IGAUS-1)+INODL)
    do 40 IDIME=1,2
        CARTL(IDIME,INODL)=CARLG(IDIME,NNODL*(IGAUS-1)+INODL)
40  continue
    UVELY=0.0
    RADUS=0.0
    VVELY=0.0
    do 50 INODP=1,NNODP
        KPOIN=IABS(LNODS(IELEM,INODP))
        ITOTU=NADFM(KPOIN)
        ITOTV=ITOTU+NODFM(KPOIN)-1
        SHAPE=SHAPP(INODP)
        UVELY=UVELY+VARB2(ITOTU)*SHAPE
        RADUS=RADUS+COORD(KPOIN,2)*SHAPE
        VVELY=VVELY+VARB2(ITOTV)*SHAPE
50  continue
    if (IAXSY.EQ.1) DAREA=DAREA*RADUS
    do 60 INODP=1,NNODP
        ERHSU(INODP)=ERHSU(INODP)+SHAPP(INODP)*DAREA*XFORC
        ERHSV(INODP)=ERHSV(INODP)+SHAPP(INODP)*DAREA*YFORC
60  continue
    do 90 ICON1=1,4
    do 90 ICON2=1,2
        IROWU=(ICON1-1)*5+3*ICON2-2
        IROWV=IROWU+3-ICON2
        INODP=2*(ICON1-1)+ICON2
        SHAPI=SHAPP(INODP)
        CARXI=CARTP(1,INODP)
        CARYI=CARTP(2,INODP)
        IROWP=IROWU+1
    do 80 JCON1 =1,4

```

```

JCOLP=(JCON1-1)*5+2
FLUMX(IROWU,JCOLP)=FLUMX(IROWU,JCOLP)+SHAPI*CARTL(1,JCON1)*
-      DAREA/DENSY
FLUMX(IROWV,JCOLP)=FLUMX(IROWV,JCOLP)+SHAPI*CARTL(2,JCON1)*
-      DAREA/DENSY
do 80 JCON2=1,2
JCOLU=(JCON1-1)*5+3*JCON2-2
JCOLV=JCOLU+3-JCON2
JNODP=2*(JCON1-1)+JCON2
SHAPJ=SHAPP(JNODP)
CARXJ=CARTP(1,JNODP)
CARYJ=CARTP(2,JNODP)
DIFFU=(CARXI*CARXJ+CARYI*CARYJ)*VISCY*DAREA
CONVC=(UVELY*CARXJ+VVELY*CARYJ)*SHAPI*DAREA
FLUMX(IROWU,JCOLU)=FLUMX(IROWU,JCOLU)+DIFFU+CONVC
FLUMX(IROWV,JCOLV)=FLUMX(IROWV,JCOLV)+DIFFU+CONVC
if (IAXSY.EQ.1) FLUMX(IROWV,JCOLV)=FLUMX(IROWV,JCOLV)+
-      SHAPI*SHAPJ*VISCY*DAREA/RADUS**2
if (ICON2.EQ.2) go to 70
FLUMX(IROWP,JCOLU)=FLUMX(IROWP,JCOLU)+SHAPL(ICON1)*DAREA*CARXJ
FLUMX(IROWP,JCOLV)=FLUMX(IROWP,JCOLV)+SHAPL(ICON1)*DAREA*CARYJ
if (IAXSY.EQ.1) FLUMX(IROWP,JCOLV)=FLUMX(IROWP,JCOLV)+
-      SHAPL(ICON1)*SHAPJ*DAREA/RADUS
70  continue
80  continue
90  continue
100 continue
do 110 INODP=1,NNODP
KPOIN=IABS(LNODS(IELEM,INODP))
ITOTU=NADFM(KPOIN)
ITOTV=ITOTU+NODFM(KPOIN)-1
EQRHS(ITOTU)=EQRHS(ITOTU)+ERHSU(INODP)
EQRHS(ITOTV)=EQRHS(ITOTV)+ERHSV(INODP)
110 continue
return
end

c
c -----
c  subroutine WRITER
c  -----
c

subroutine WRITER (IITER, MPOIN, MTOTV, NADFM, NDOFM, NODFM,
-      NPOIN, VARB1, VARB2)
dimension NADFM(MPOIN), NODFM(MPOIN), VARB1(MTOTV), VARB2(MTOTV)

```

```

write (11,2000) IITER
do 20 IPOIN=1,NPOIN
  IODFM=NODFM(IPOIN)
  IADFM=NADFM(IPOIN)
  if (IODFM.EQ.NDOFM) go to 10
  write (11,2010) IPOIN, (VARB1(IADFM+JODFM-1), JODFM=1,IODFM),
    - (VARB2(IADFM+JODFM-1), JODFM=1,IODFM)
  go to 20
10 continue
  write (11,2020) IPOIN, (VARB1(IADFM+JODFM-1), JODFM=1,IODFM),
    - (VARB2(IADFM+JODFM-1), JODFM=1,IODFM)
20 continue
  return
2000 format (//21H HASIL ITERASI NOMOR ,I2,
  -//14X, 3(4HBARU,6X), 4X, 3(4HLAMA,6X)/,
  -7H NODE , 2(4X,30HU-VELOCITY PRESSURE V-VELOCITY))
2010 format (I6, 4X, 2(E10.3,10X,E10.3,5X))
2020 format (I6, 4X, 2(3E10.3,5X))
  return
end

c
c -----
c subroutine TOLREL
c -----
c

subroutine TOLREL (IITER, MTOTV, NCONV, NTOTV, RELAX, TOLER,
- VARB1, VARB2)
  dimension VARB1(MTOTV), VARB2(MTOTV)
  CANLA=0.0
  NCONV=1
  do 10 ITOTV=1,NTOTV
    if (ABS(VARB1(ITOTV)).LT.0.0001) go to 10
    CANGE=ABS((VARB1(ITOTV)-VARB2(ITOTV))/VARB1(ITOTV))
    if (CANGE.GT.TOLER) NCONV=0
    if (CANLA.GT.CANGE) go to 10
    CANLA=CANGE
    LTOLA=ITOTV
10 continue
  write (11,2000) LTOLA, CANLA
  if (NCONV.EQ.0) go to 20
  write (11,2010)
  write (*,2010)
  return
20 continue

```



```
      if (IITER.EQ.1) go to 40
      do 30 ITOTV=1,NTOTV
        VARB2(ITOTV)=VARB2(ITOTV)+RELAX*(VARB1(ITOTV)-VARB2(ITOTV))
30    continue
      return
40    continue
      do 50 ITOTV=1,NTOTV
        VARB2(ITOTV)=VARB1(ITOTV)
50    continue
2000  format (/35H PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR , I3,
./11H SEBESAR = ,F10.4)
2010  format (//42H PENYELESAIAN SUDAH MENCAPAI KONVERGENSI !)
      return
      end
```

LAMPIRAN B

PETUNJUK PEMAKAIAN PROGRAM FLUIDA

1. DATA INPUT.

Data yang digunakan dalam program FLUIDA ini dibagi dalam lima kelompok, yaitu :

A. Data kontrol.

Data kontrol ini menginformasikan tipe problem, jumlah elemen dan node, jumlah iterasi, jumlah data node, kondisi awal, jumlah variabel tetap dan jumlah kondisi batas yang diberikan.

a. TITLE.

Judul yang menerangkan tipe problem, maksimum adalah 80 karakter.

b. IAXSY.

Menginformasikan tipe domain problem :

- 0 - problem bidang
- 1 - problem asimetrik

c. NELEM.

Total jumlah elemen dalam mesh

d. NITER.

Total jumlah iterasi yang diijinkan bila proses tidak mencapai konvergensi.

e. NPOIN.

Total jumlah node dalam mesh.

f. NRPON.

Total jumlah data koordinat node yang diberikan.

g. NICON.

Total jumlah kondisi awal yang diberikan.

h. NBCON.

Total jumlah variabel dengan harga tetap dalam mesh.

i. NEBCN.

Total jumlah elemen dalam mesh dengan kondisi batas.

j. NNBCN.

Total jumlah kondisi batas yang diberikan.

B. Data sifat fluida.

Menginformasikan tentang sifat-sifat fluida seperti : viskositas, gravitasi, density, toleransi dan koefisien konvergensi.

a. DENSITY.

Informasi tentang densitas fluida yang digunakan (ρ)

b. RELAX.

Koefisien yang digunakan dalam proses mencapai konvergensi.

c. TOLER.

Toleransi yang diberikan dalam proses mencapai konvergensi.

d. VISCY.

Viscositas dinamik fluida (μ).

e. XFORC.

Body force pada arah x.

e. YFORC.

Body force pada arah y.

C. Data geometris.

Data ini memberikan informasi tentang koordinat-koordinat node dan node global dari elemen dalam suatu mesh.

a. JPOIN.

Nomor node global.

b. COORD (JPOIN,1).

Koordinat dari node JPOIN pada sumbu - x.

c. COORD (JPOIN,2).

Koordinat dari node JPOIN pada sumbu - y.

d. JELEM.

Nomor elemen global.

e. LNODS (JELEM,1).

Nomor node global dari node kiri bawah elemen JELEM.

LNODS (JELEM,2).

Nomor node global dari node tengah bawah elemen JELEM.

dan seterusnya berlawanan dengan arah jarum jam, sampai :

LNODS (JELEM,8).

Nomor node global dari node kiri tengah elemen JELEM.

D. Data kondisi awal.

Data ini memberikan informasi tentang harga kondisi awal yang mungkin mempunyai peran dominan menuju kesetimbangan dalam proses konvergensi. Harga kondisi awal ini akan disamakan dengan nol bila tidak diberikan.

a. IPOIN.

Nomor node global.

b. IDOFM.

Derajat kebebasan pada node lokal :

- 1 - kecepatan pada arah sumbu - x.
- 2 - tekanan (hanya pada node sudut)
- 3 - kecepatan pada arah sumbu - y.

c. TEMPY.

Harga awal yang diberikan pada variabel.

E. Data kondisi batas.

Ada dua macam kondisi batas , pertama adalah variabel dengan harga tetap atau disebut kondisi batas geometrik dan yang kedua adalah gradien kecepatan yang disebut kondisi batas alami.

Kondisi batas geometris

a. IPOIN.

Nomor node global.

b. BVALU.

Harga kondisi batas yang diberikan pada variabel tertentu.

Kondisi batas alami

a. IELEM.

Nomor elemen dengan kondisi batas gradien.

b. NGRAD (IELEM).

Sisi elemen dengan kondisi batas gradien.

1 - node lokal 7, 8, 1

2 - node lokal 5, 6, 7

3 - node lokal 3, 4, 5

4 - node lokal 1, 2, 3

c. IPOIN.

Node dengan informasi gradien kecepatan.

d. IGRAD.

Indikator gradien yang diberikan :

1 - $\partial u / \partial x$

2 - $\partial u / \partial y$

3 - $\partial v / \partial x$

4 - $\partial v / \partial y$

e. GRADB (IPOIN, IGRAD).

Harga gradien kecepatan yang diberikan.

2. FILE YANG DIPERLUKAN.

A. Fluida.exe

Merupakan program pemodelan aliran fluida dalam pipa.

B. Data.mas

Memuat data-data input seperti yang telah dijelaskan diatas.

C. H1.

Merupakan hasil dari subroutine FRONTS untuk digunakan pada bagian lain dari subroutine ini.

D. H2.

Merupakan hasil dari subroutine DRIVES dan akan digunakan dalam subroutine MATRIX.

E. Hasil.mas

Output dari program FLUIDA, merupakan hasil dari subroutine WRITER.

3. DATA INPUT.

3.1. Input Aliran Dalam Pipa Lurus.

ALIRAN DALAM PIPA LURUS

0	32	35	121	45			
0	120	0	0				
	908.0		0.5	0.05	.13257	0.0	0.0
1	1.0	1.0					
3	1.5	1.0					
5	2.0	1.0					
7	2.5	1.0					
9	3.0	1.0					
11	3.5	1.0					
13	4.0	1.0					
15	4.5	1.0					
17	5.0	1.0					
27	1.0	1.1					
29	1.5	1.1					
31	2.0	1.1					
33	2.5	1.1					
35	3.0	1.1					
37	3.5	1.1					
39	4.0	1.1					
41	4.5	1.1					
43	5.0	1.1					
53	1.0	1.2					
55	1.5	1.2					
57	2.0	1.2					
59	2.5	1.2					
61	3.0	1.2					
63	3.5	1.2					
65	4.0	1.2					
67	4.5	1.2					
69	5.0	1.2					
79	1.0	1.3					
81	1.5	1.3					
83	2.0	1.3					
85	2.5	1.3					
87	3.0	1.3					

89	3.5	1.3						
91	4.0	1.3						
93	4.5	1.3						
95	5.0	1.3						
105	1.0	1.4						
107	1.5	1.4						
109	2.0	1.4						
111	2.5	1.4						
113	3.0	1.4						
115	3.5	1.4						
117	4.0	1.4						
119	4.5	1.4						
121	5.0	1.4						
1	1	2	3	19	29	28	27	18
2	27	28	29	45	55	54	53	44
3	53	54	55	71	81	80	79	70
4	79	80	81	97	107	106	105	96
5	3	4	5	20	31	30	29	19
6	29	30	31	46	57	56	55	45
7	55	56	57	72	83	82	81	71
8	81	82	83	98	109	108	107	97
9	5	6	7	21	33	32	31	20
10	31	32	33	47	59	58	57	46
11	57	58	59	73	85	84	83	72
12	83	84	85	99	111	110	109	98
13	7	8	9	22	35	34	33	21
14	33	34	35	48	61	60	59	47
15	59	60	61	74	87	86	85	73
16	85	86	87	100	113	112	111	99
17	9	10	11	23	37	36	35	22
18	35	36	37	49	63	62	61	48
19	61	62	63	75	89	88	87	74
20	87	88	89	101	115	114	113	100
21	11	12	13	24	39	38	37	23
22	37	38	39	50	65	64	63	49
23	63	64	65	76	91	90	89	75
24	89	90	91	102	117	116	115	101
25	13	14	15	25	41	40	39	24
26	39	40	41	51	67	66	65	50
27	65	66	67	77	93	92	91	76
28	91	92	93	103	119	118	117	102
29	15	16	17	26	43	42	41	25
30	41	42	43	52	69	68	67	51
31	67	68	69	78	95	94	93	77
32	93	94	95	104	121	120	119	103

1	1	0.0
2	1	0.0
3	1	0.0
4	1	0.0
5	1	0.0
6	1	0.0
7	1	0.0
8	1	0.0
9	1	0.0
10	1	0.0
11	1	0.0
12	1	0.0
13	1	0.0
14	1	0.0
15	1	0.0
16	1	0.0
17	1	0.0
18	1	0.330
27	1	0.566
44	1	0.707
53	1	0.754
70	1	0.707
79	1	0.566
96	1	0.330
105	1	0.0
106	1	0.0
107	1	0.0
108	1	0.0
109	1	0.0
110	1	0.0
111	1	0.0
112	1	0.0
113	1	0.0
114	1	0.0
115	1	0.0
116	1	0.0
117	1	0.0
118	1	0.0
119	1	0.0
120	1	0.0
121	1	0.0
1	2	100.0
3	2	95.0
5	2	90.0
7	2	85.0

9	2	80.0
11	2	75.0
13	2	70.0
15	2	65.0
17	2	60.0
27	2	100.0
29	2	95.0
31	2	90.0
33	2	85.0
35	2	80.0
37	2	75.0
39	2	70.0
41	2	65.0
43	2	60.0
53	2	100.0
55	2	95.0
57	2	90.0
59	2	85.0
61	2	80.0
63	2	75.0
65	2	70.0
67	2	65.0
69	2	60.0
79	2	100.0
81	2	95.0
83	2	90.0
85	2	85.0
87	2	80.0
89	2	75.0
91	2	70.0
93	2	65.0
95	2	60.0
105	2	100.0
107	2	95.0
109	2	90.0
111	2	85.0
113	2	80.0
115	2	75.0
117	2	70.0
119	2	65.0
121	2	60.0
1	3	0.0
2	3	0.0
3	3	0.0
4	3	0.0

5	3	0.0
6	3	0.0
7	3	0.0
8	3	0.0
9	3	0.0
10	3	0.0
11	3	0.0
12	3	0.0
13	3	0.0
14	3	0.0
15	3	0.0
16	3	0.0
17	3	0.0
105	3	0.0
106	3	0.0
107	3	0.0
108	3	0.0
109	3	0.0
110	3	0.0
111	3	0.0
112	3	0.0
113	3	0.0
114	3	0.0
115	3	0.0
116	3	0.0
117	3	0.0
118	3	0.0
119	3	0.0
120	3	0.0
121	3	0.0

3. 2. Input Aliran Dalam Pipa Ekspansi Berangsur.

ALIRAN DALAM PIPA EKSPANSI BERANGSUR

0	32	30	121	45			
0	120	0	0				
908.0		0.5	0.10	0.13257	0.0	0.0	
1	1.0	1.1					
3	1.5	1.1					
5	2.0	1.1					
7	2.5	1.1					
9	3.0	1.05					

11	3.5	1.0
13	4.0	1.0
15	4.5	1.0
17	5.0	1.0
27	1.0	1.2
29	1.5	1.2
31	2.0	1.2
33	2.5	1.2
35	3.0	1.2
37	3.5	1.2
39	4.0	1.2
41	4.5	1.2
43	5.0	1.2
53	1.0	1.3
55	1.5	1.3
57	2.0	1.3
59	2.5	1.3
61	3.0	1.3
63	3.5	1.3
65	4.0	1.3
67	4.5	1.3
69	5.0	1.3
79	1.0	1.4
81	1.5	1.4
83	2.0	1.4
85	2.5	1.4
87	3.0	1.4
89	3.5	1.4
91	4.0	1.4
93	4.5	1.4
95	5.0	1.4
105	1.0	1.5
107	1.5	1.5
109	2.0	1.5
111	2.5	1.5
113	3.0	1.55
115	3.5	1.6
117	4.0	1.6
119	4.5	1.6
121	5.0	1.6

1	1	2	3	19	29	28	27	18
2	27	28	29	45	55	54	53	44
3	53	54	55	71	81	80	79	70
4	79	80	81	97	107	106	105	96
5	3	4	5	20	31	30	29	19

6	29	30	31	46	57	56	55	45
7	55	56	57	72	83	82	81	71
8	81	82	83	98	109	108	107	97
9	5	6	7	21	33	32	31	20
10	31	32	33	47	59	58	57	46
11	57	58	59	73	85	84	83	72
12	83	84	85	99	111	110	109	98
13	7	8	9	22	35	34	33	21
14	33	34	35	48	61	60	59	47
15	59	60	61	74	87	86	85	73
16	85	86	87	100	113	112	111	99
17	9	10	11	23	37	36	35	22
18	35	36	37	49	63	62	61	48
19	61	62	63	75	89	88	87	74
20	87	88	89	101	115	114	113	100
21	11	12	13	24	39	38	37	23
22	37	38	39	50	65	64	63	49
23	63	64	65	76	91	90	89	75
24	89	90	91	102	117	116	115	101
25	13	14	15	25	41	40	39	24
26	39	40	41	51	67	66	65	50
27	65	66	67	77	93	92	91	76
28	91	92	93	103	119	118	117	102
29	15	16	17	26	43	42	41	25
30	41	42	43	52	69	68	67	51
31	67	68	69	78	95	94	93	77
32	93	94	95	104	121	120	119	103

1	1	0.0
2	1	0.0
3	1	0.0
4	1	0.0
5	1	0.0
6	1	0.0
7	1	0.0
8	1	0.0
9	1	0.0
10	1	0.0
11	1	0.0
12	1	0.0
13	1	0.0
14	1	0.0
15	1	0.0
16	1	0.0
17	1	0.0

18	1	0.330
27	1	0.566
44	1	0.707
53	1	0.754
70	1	0.707
79	1	0.566
96	1	0.330
105	1	0.0
106	1	0.0
107	1	0.0
108	1	0.0
109	1	0.0
110	1	0.0
111	1	0.0
112	1	0.0
113	1	0.0
114	1	0.0
115	1	0.0
116	1	0.0
117	1	0.0
118	1	0.0
119	1	0.0
120	1	0.0
121	1	0.0
1	2	100.0
3	2	95.0
5	2	90.0
7	2	85.0
9	2	80.0
11	2	75.0
13	2	70.0
15	2	65.0
17	2	60.0
27	2	100.0
29	2	95.0
31	2	90.0
33	2	85.0
35	2	80.0
37	2	75.0
39	2	70.0
41	2	65.0
43	2	60.0
53	2	100.0
55	2	95.0
57	2	90.0

59	2	85.0
61	2	80.0
63	2	75.0
65	2	70.0
67	2	65.0
69	2	60.0
79	2	100.0
81	2	95.0
83	2	90.0
85	2	85.0
87	2	80.0
89	2	75.0
91	2	70.0
93	2	65.0
95	2	60.0
105	2	100.0
107	2	95.0
109	2	90.0
111	2	85.0
113	2	80.0
115	2	75.0
117	2	70.0
119	2	65.0
121	2	60.0
1	3	0.0
2	3	0.0
3	3	0.0
4	3	0.0
5	3	0.0
6	3	0.0
7	3	0.0
8	3	0.0
9	3	0.0
10	3	0.0
11	3	0.0
12	3	0.0
13	3	0.0
14	3	0.0
15	3	0.0
16	3	0.0
17	3	0.0
105	3	0.0
106	3	0.0
107	3	0.0
108	3	0.0

109	3	0.0
110	3	0.0
111	3	0.0
112	3	0.0
113	3	0.0
114	3	0.0
115	3	0.0
116	3	0.0
117	3	0.0
118	3	0.0
119	3	0.0
120	3	0.0
121	3	0.0

3. 3. Input Allran Dalam Pipa Belok.

ALIRAN DALAM PIPA BELOK

1	32	50	121	55			
0	117	0	0				
908.0		0.5	0.1	.13257	0.0	0.0	
1	1.0	1.0					
3	1.1	1.0					
5	1.2	1.0					
7	1.3	1.0					
9	1.4	1.0					
15	1.0	1.5					
17	1.1	1.5					
19	1.2	1.5					
21	1.3	1.5					
23	1.4	1.5					
29	1.0	2.0					
31	1.1	2.0					
33	1.2	2.0					
35	1.3	2.0					
37	1.4	2.0					
43	1.0	2.5					
45	1.1	2.5					
47	1.2	2.5					
49	1.3	2.5					
51	1.4	2.5					
52	1.04	2.75					

53	1.14	2.70						
54	1.24	2.66						
55	1.33	2.63						
56	1.42	2.59						
57	1.17	2.97						
59	1.25	2.88						
61	1.32	2.80						
63	1.39	2.73						
65	1.46	2.65						
66	1.37	3.06						
67	1.41	2.96						
68	1.45	2.87						
69	1.49	2.78						
70	1.53	2.69						
71	1.6	3.1						
73	1.6	3.0						
75	1.6	2.9						
77	1.6	2.8						
79	1.6	2.7						
85	2.1	3.1						
87	2.1	3.0						
89	2.1	2.9						
91	2.1	2.8						
93	2.1	2.7						
99	2.6	3.1						
101	2.6	3.0						
103	2.6	2.9						
105	2.6	2.8						
107	2.6	2.7						
113	3.1	3.1						
115	3.1	3.0						
117	3.1	2.9						
119	3.1	2.8						
121	3.1	2.7						

1	1	2	3	11	17	16	15	10
2	3	4	5	12	19	18	17	11
3	5	6	7	13	21	20	19	12
4	7	8	9	14	23	22	21	13
5	15	16	17	25	31	30	29	24
6	17	18	19	26	33	32	31	25
7	19	20	21	27	35	34	33	26
8	21	22	23	28	37	36	35	27
9	29	30	31	39	45	44	43	38
10	31	32	33	40	47	46	45	39
11	33	34	35	41	49	48	47	40

12	35	36	37	42	51	50	49	41
13	43	44	45	53	59	58	57	52
14	45	46	47	54	61	60	59	53
15	47	48	49	55	63	62	61	54
16	49	50	51	56	65	64	63	55
17	57	58	59	67	73	72	71	66
18	59	60	61	68	75	74	73	67
19	61	62	63	69	77	76	75	68
20	63	64	65	70	79	78	77	69
21	71	72	73	81	87	86	85	80
22	73	74	75	82	89	88	87	81
23	75	76	77	83	91	90	89	82
24	77	78	79	84	93	92	91	83
25	85	86	87	95	101	100	99	94
26	87	88	89	96	103	102	101	95
27	89	90	91	97	105	104	103	96
28	91	92	93	98	107	106	105	97
29	99	100	101	109	115	114	113	108
30	101	102	103	110	117	116	115	109
31	103	104	105	111	119	118	117	110
32	105	106	107	112	121	120	119	111
1	1	0.0						
3	1	0.0						
5	1	0.0						
7	1	0.0						
10	1	0.0						
15	1	0.0						
24	1	0.0						
29	1	0.0						
38	1	0.0						
43	1	0.0						
52	1	0.0						
57	1	0.0						
66	1	0.0						
71	1	0.0						
80	1	0.0						
85	1	0.0						
99	1	0.0						
113	1	0.0						
9	1	0.0						
14	1	0.0						
23	1	0.0						
28	1	0.0						
37	1	0.0						
42	1	0.0						

51	1	0.0
65	1	0.0
70	1	0.0
79	1	0.0
84	1	0.0
93	1	0.0
98	1	0.0
107	1	0.0
112	1	0.0
121	1	0.0
1	2	100.0
3	2	100.0
5	2	100.0
7	2	100.0
9	2	100.0
15	2	95.0
17	2	95.0
19	2	95.0
21	2	95.0
23	2	95.0
29	2	90.0
31	2	90.0
33	2	90.0
35	2	90.0
37	2	90.0
43	2	85.0
45	2	85.0
47	2	85.0
49	2	85.0
51	2	85.0
57	2	80.0
59	2	80.0
61	2	80.0
63	2	80.0
65	2	80.0
71	2	75.0
73	2	75.0
75	2	75.0
77	2	75.0
79	2	75.0
85	2	70.0
87	2	70.0
89	2	70.0
91	2	70.0
93	2	70.0

99	2	65.0
101	2	65.0
103	2	65.0
105	2	65.0
107	2	65.0
113	2	60.0
115	2	60.0
117	2	60.0
119	2	60.0
121	2	60.0
1	3	0.0
2	3	0.330
3	3	0.566
4	3	0.707
5	3	0.754
6	3	0.707
7	3	0.566
8	3	0.330
9	3	0.0
10	3	0.0
15	3	0.0
24	3	0.0
29	3	0.0
38	3	0.0
43	3	0.0
52	3	0.0
57	3	0.0
66	3	0.0
71	3	0.0
80	3	0.0
85	3	0.0
99	3	0.0
113	3	0.0
14	3	0.0
23	3	0.0
28	3	0.0
37	3	0.0
42	3	0.0
51	3	0.0
65	3	0.0
70	3	0.0
79	3	0.0
84	3	0.0
93	3	0.0
98	3	0.0

107	3	0.0
112	3	0.0
121	3	0.0

B - 21

LAMPIRAN C

ALIRAN DALAM PIPA LURUS

ALIRAN DALAM PIPA LURUS

DATA KONTROL

IAJSY = 0 NELEM = 32 NITER = 35 NPOIN = 121 NRPON = 45
NICON = 0 NBCON = 120 NEBCN = 0 NNBCN = 0

SIFAT FISIK

DENSY = 908.00000 RELAX = .50000 TOLER = .05000
VISCY = .13257 XFORC = .00000 YFORC = .00000

TOPOLOGI ELEMEN

ELEMENT	NODE NUMBERS							
1	1	2	3	19	29	28	27	18
2	27	28	29	45	55	54	53	44
3	53	54	55	71	81	80	79	70
4	79	80	81	97	107	106	105	96
5	3	4	5	20	31	30	29	19
6	29	30	31	46	57	56	55	45
7	55	56	57	72	83	82	81	71
8	81	82	83	98	109	108	107	97
9	5	6	7	21	33	32	31	20
10	31	32	33	47	59	58	57	46
11	57	58	59	73	85	84	83	72
12	83	84	85	99	111	110	109	98
13	7	8	9	22	35	34	33	21
14	33	34	35	48	61	60	59	47
15	59	60	61	74	87	86	85	73
16	85	86	87	100	113	112	111	99
17	9	10	11	23	37	36	35	22
18	35	36	37	49	63	62	61	48
19	61	62	63	75	89	88	87	74
20	87	88	89	101	115	114	113	100
21	11	12	13	24	39	38	37	23
22	37	38	39	50	65	64	63	49
23	63	64	65	76	91	90	89	75
24	89	90	91	102	117	116	115	101
25	13	14	15	25	41	40	39	24
26	39	40	41	51	67	66	65	50
27	65	66	67	77	93	92	91	76
28	91	92	93	103	119	118	117	102
29	15	16	17	26	43	42	41	25
30	41	42	43	52	69	68	67	51
31	67	68	69	78	95	94	93	77
32	93	94	95	104	121	120	119	103

KOORDINAT NODE

NODE	DOF	NDOF	X-COORD	Y-COORD	U-VEL	PRESSURE	Y-VEL
1	1	3	1.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
2	4	2	1.2500	1.0000	.0000		.0000
3	6	3	1.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
4	9	2	1.7500	1.0000	.0000		.0000
5	11	3	2.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
6	14	2	2.2500	1.0000	.0000		.0000
7	16	3	2.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
8	19	2	2.7500	1.0000	.0000		.0000
9	21	3	3.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
10	24	2	3.2500	1.0000	.0000		.0000
11	26	3	3.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
12	29	2	3.7500	1.0000	.0000		.0000
13	31	3	4.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
14	34	2	4.2500	1.0000	.0000		.0000
15	36	3	4.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
16	39	2	4.7500	1.0000	.0000		.0000
17	41	3	5.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
18	44	2	1.0000	1.0500	.0000		.0000
19	46	2	1.5000	1.0500	.0000		.0000
20	48	2	2.0000	1.0500	.0000		.0000
21	50	2	2.5000	1.0500	.0000		.0000
22	52	2	3.0000	1.0500	.0000		.0000
23	54	2	3.5000	1.0500	.0000		.0000
24	56	2	4.0000	1.0500	.0000		.0000
25	58	2	4.5000	1.0500	.0000		.0000
26	60	2	5.0000	1.0500	.0000		.0000
27	62	3	1.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
28	65	2	1.2500	1.1000	.0000		.0000
29	67	3	1.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
30	70	2	1.7500	1.1000	.0000		.0000
31	72	3	2.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
32	75	2	2.2500	1.1000	.0000		.0000
33	77	3	2.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
34	80	2	2.7500	1.1000	.0000		.0000
35	82	3	3.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
36	85	2	3.2500	1.1000	.0000		.0000
37	87	3	3.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
38	90	2	3.7500	1.1000	.0000		.0000
39	92	3	4.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
40	95	2	4.2500	1.1000	.0000		.0000
41	97	3	4.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
42	100	2	4.7500	1.1000	.0000		.0000
43	102	3	5.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
44	105	2	1.0000	1.1500	.0000		.0000
45	107	2	1.5000	1.1500	.0000		.0000
46	109	2	2.0000	1.1500	.0000		.0000
47	111	2	2.5000	1.1500	.0000		.0000
48	113	2	3.0000	1.1500	.0000		.0000
49	115	2	3.5000	1.1500	.0000		.0000
50	117	2	4.0000	1.1500	.0000		.0000
51	119	2	4.5000	1.1500	.0000		.0000
52	121	2	5.0000	1.1500	.0000		.0000
53	123	3	1.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
54	126	2	1.2500	1.2000	.0000		.0000
55	128	3	1.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
56	131	2	1.7500	1.2000	.0000		.0000
57	133	3	2.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
58	136	2	2.2500	1.2000	.0000		.0000
59	138	3	2.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
60	141	2	2.7500	1.2000	.0000		.0000
61	143	3	3.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
62	146	2	3.2500	1.2000	.0000		.0000
63	148	3	3.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000

64	151	2	3.7500	1.2000	.0000		.0000
65	153	3	4.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
66	156	2	4.2500	1.2000	.0000		.0000
67	158	3	4.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
68	161	2	4.7500	1.2000	.0000		.0000
69	163	3	5.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
70	166	2	1.0000	1.2500	.0000		.0000
71	168	2	1.5000	1.2500	.0000		.0000
72	170	2	2.0000	1.2500	.0000		.0000
73	172	2	2.5000	1.2500	.0000		.0000
74	174	2	3.0000	1.2500	.0000		.0000
75	176	2	3.5000	1.2500	.0000		.0000
76	178	2	4.0000	1.2500	.0000		.0000
77	180	2	4.5000	1.2500	.0000		.0000
78	182	2	5.0000	1.2500	.0000		.0000
79	184	3	1.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
80	187	2	1.2500	1.3000	.0000		.0000
81	189	3	1.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
82	192	2	1.7500	1.3000	.0000		.0000
83	194	3	2.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
84	197	2	2.2500	1.3000	.0000		.0000
85	199	3	2.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
86	202	2	2.7500	1.3000	.0000		.0000
87	204	3	3.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
88	207	2	3.2500	1.3000	.0000		.0000
89	209	3	3.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
90	212	2	3.7500	1.3000	.0000		.0000
91	214	3	4.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
92	217	2	4.2500	1.3000	.0000		.0000
93	219	3	4.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
94	222	2	4.7500	1.3000	.0000		.0000
95	224	3	5.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
96	227	2	1.0000	1.3500	.0000		.0000
97	229	2	1.5000	1.3500	.0000		.0000
98	231	2	2.0000	1.3500	.0000		.0000
99	233	2	2.5000	1.3500	.0000		.0000
100	235	2	3.0000	1.3500	.0000		.0000
101	237	2	3.5000	1.3500	.0000		.0000
102	239	2	4.0000	1.3500	.0000		.0000
103	241	2	4.5000	1.3500	.0000		.0000
104	243	2	5.0000	1.3500	.0000		.0000
105	245	3	1.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
106	248	2	1.2500	1.4000	.0000		.0000
107	250	3	1.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
108	253	2	1.7500	1.4000	.0000		.0000
109	255	3	2.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
110	258	2	2.2500	1.4000	.0000		.0000
111	260	3	2.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
112	263	2	2.7500	1.4000	.0000		.0000
113	265	3	3.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
114	268	2	3.2500	1.4000	.0000		.0000
115	270	3	3.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
116	273	2	3.7500	1.4000	.0000		.0000
117	275	3	4.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
118	278	2	4.2500	1.4000	.0000		.0000
119	280	3	4.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
120	283	2	4.7500	1.4000	.0000		.0000
121	285	3	5.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000

SYARAT BATAS

NODE	U-FIXED	PRESSURE	V-FIXED
1	.0000		
2	.0000		

3	.0000
4	.0000
5	.0000
6	.0000
7	.0000
8	.0000
9	.0000
10	.0000
11	.0000
12	.0000
13	.0000
14	.0000
15	.0000
16	.0000
17	.0000
18	.3300
27	.5660
44	.7070
53	.7540
70	.7070
79	.5660
96	.3300
105	.0000
106	.0000
107	.0000
108	.0000
109	.0000
110	.0000
111	.0000
112	.0000
113	.0000
114	.0000
115	.0000
116	.0000
117	.0000
118	.0000
119	.0000
120	.0000
121	.0000
1	100.0000
3	95.0000
5	90.0000
7	85.0000
9	80.0000
11	75.0000
13	70.0000
15	65.0000
17	60.0000
27	100.0000
29	95.0000
31	90.0000
33	85.0000
35	80.0000
37	75.0000
39	70.0000
41	65.0000
43	60.0000
53	100.0000
55	95.0000
57	90.0000
59	85.0000
61	80.0000
63	75.0000
65	70.0000
67	65.0000
69	60.0000
79	100.0000

81	95.0000	
83	90.0000	
85	85.0000	
87	80.0000	
89	75.0000	
91	70.0000	
93	65.0000	
95	60.0000	
105	100.0000	
107	95.0000	
109	90.0000	
111	85.0000	
113	80.0000	
115	75.0000	
117	70.0000	
119	65.0000	
121	60.0000	
1		.0000
2		.0000
3		.0000
4		.0000
5		.0000
6		.0000
7		.0000
8		.0000
9		.0000
10		.0000
11		.0000
12		.0000
13		.0000
14		.0000
15		.0000
16		.0000
17		.0000
105		.0000
106		.0000
107		.0000
108		.0000
109		.0000
110		.0000
111		.0000
112		.0000
113		.0000
114		.0000
115		.0000
116		.0000
117		.0000
118		.0000
119		.0000
120		.0000
121		.0000

HASIL ITERASI NOMOR 1

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
6	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
12	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
13	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
16	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
17	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
18	.330E+00		-.522E-08	.000E+00		.000E+00
19	.328E+00		-.333E-08	.000E+00		.000E+00
20	.328E+00		-.228E-10	.000E+00		.000E+00
21	.328E+00		-.482E-08	.000E+00		.000E+00
22	.328E+00		-.348E-08	.000E+00		.000E+00
23	.328E+00		-.481E-09	.000E+00		.000E+00
24	.328E+00		-.506E-09	.000E+00		.000E+00
25	.328E+00		-.473E-10	.000E+00		.000E+00
26	.328E+00		.166E-08	.000E+00		.000E+00
27	.566E+00	.100E+03	-.860E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
28	.562E+00		.176E-09	.000E+00		.000E+00
29	.562E+00	.950E+02	-.591E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
30	.562E+00		.373E-08	.000E+00		.000E+00
31	.562E+00	.900E+02	.213E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
32	.562E+00		.373E-08	.000E+00		.000E+00
33	.562E+00	.850E+02	-.112E-07	.000E+00	.000E+00	.000E+00
34	.562E+00		-.186E-08	.000E+00		.000E+00
35	.562E+00	.800E+02	-.559E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
36	.562E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
37	.562E+00	.750E+02	-.186E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
38	.562E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
39	.562E+00	.700E+02	-.931E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
40	.562E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
41	.562E+00	.650E+02	.547E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
42	.562E+00		.256E-08	.000E+00		.000E+00
43	.562E+00	.600E+02	.331E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
44	.707E+00		-.723E-08	.000E+00		.000E+00
45	.703E+00		-.484E-08	.000E+00		.000E+00
46	.702E+00		.357E-09	.000E+00		.000E+00
47	.702E+00		-.129E-07	.000E+00		.000E+00
48	.702E+00		-.296E-08	.000E+00		.000E+00
49	.702E+00		-.409E-08	.000E+00		.000E+00
50	.702E+00		-.218E-08	.000E+00		.000E+00
51	.702E+00		.304E-08	.000E+00		.000E+00
52	.702E+00		.295E-08	.000E+00		.000E+00
53	.754E+00	.100E+03	-.510E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
54	.750E+00		.234E-08	.000E+00		.000E+00
55	.749E+00	.950E+02	-.477E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
56	.749E+00		.279E-08	.000E+00		.000E+00
57	.749E+00	.900E+02	.226E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
58	.749E+00		.373E-08	.000E+00		.000E+00
59	.749E+00	.850E+02	-.131E-07	.000E+00	.000E+00	.000E+00
60	.749E+00		-.373E-08	.000E+00		.000E+00
61	.749E+00	.800E+02	-.588E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
62	.749E+00		-.931E-09	.000E+00		.000E+00
63	.749E+00	.750E+02	-.559E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
64	.749E+00		-.186E-08	.000E+00		.000E+00
65	.749E+00	.700E+02	-.373E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
66	.749E+00		.186E-08	.000E+00		.000E+00
67	.749E+00	.650E+02	.506E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
68	.749E+00		.373E-08	.000E+00		.000E+00
69	.749E+00	.600E+02	.301E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
70	.707E+00		-.292E-08	.000E+00		.000E+00
71	.703E+00		-.660E-08	.000E+00		.000E+00
72	.702E+00		.121E-09	.000E+00		.000E+00
73	.702E+00		-.127E-07	.000E+00		.000E+00
74	.702E+00		-.640E-09	.000E+00		.000E+00
75	.702E+00		-.449E-08	.000E+00		.000E+00
76	.702E+00		-.448E-08	.000E+00		.000E+00

77	.702E+00		.567E-08	.000E+00		.000E+00
78	.702E+00		.835E-09	.000E+00		.000E+00
79	.566E+00	.100E+03	-.265E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
80	.562E+00		.286E-08	.000E+00		.000E+00
81	.562E+00	.950E+02	-.760E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
82	.562E+00		.512E-08	.000E+00		.000E+00
83	.562E+00	.900E+02	-.210E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
84	.562E+00		.140E-08	.000E+00		.000E+00
85	.562E+00	.850E+02	-.115E-07	.000E+00	.000E+00	.000E+00
86	.562E+00		.698E-09	.000E+00		.000E+00
87	.562E+00	.800E+02	-.757E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
88	.562E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
89	.562E+00	.750E+02	-.186E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
90	.562E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
91	.562E+00	.700E+02	-.397E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
92	.562E+00		.261E-08	.000E+00		.000E+00
93	.562E+00	.650E+02	.516E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
94	.562E+00		.396E-08	.000E+00		.000E+00
95	.562E+00	.600E+02	.685E-09	.000E+00	.000E+00	.000E+00
96	.330E+00		-.990E-09	.000E+00		.000E+00
97	.328E+00		-.453E-08	.000E+00		.000E+00
98	.328E+00		-.108E-08	.000E+00		.000E+00
99	.328E+00		-.644E-08	.000E+00		.000E+00
100	.328E+00		-.102E-08	.000E+00		.000E+00
101	.328E+00		-.105E-08	.000E+00		.000E+00
102	.328E+00		-.227E-08	.000E+00		.000E+00
103	.328E+00		.301E-08	.000E+00		.000E+00
104	.328E+00		.680E-09	.000E+00		.000E+00
105	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
106	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
107	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
108	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
109	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
110	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
111	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
114	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
115	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
116	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
117	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
118	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
119	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
120	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 286
SEBESAR = 1.0000

HASIL ITERASI NOMOR 2

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
4	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
6	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
8	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00

12	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
13	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
16	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
17	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
18	.330E+00		-.551E-08	.330E+00		-.522E-08
19	.328E+00		-.149E-08	.328E+00		-.333E-08
20	.328E+00		-.404E-09	.328E+00		-.228E-10
21	.328E+00		-.126E-08	.328E+00		-.482E-08
22	.328E+00		-.374E-08	.328E+00		-.348E-08
23	.328E+00		.608E-09	.328E+00		-.481E-09
24	.328E+00		-.946E-09	.328E+00		-.506E-09
25	.328E+00		-.262E-09	.328E+00		-.473E-10
26	.328E+00		.157E-08	.328E+00		.166E-08
27	.566E+00	.100E+03	-.102E-07	.566E+00	.100E+03	-.860E-08
28	.563E+00		-.186E-08	.562E+00		.176E-09
29	.562E+00	.950E+02	-.361E-08	.562E+00	.950E+02	-.591E-08
30	.562E+00		-.931E-09	.562E+00		.373E-08
31	.562E+00	.900E+02	.626E-09	.562E+00	.900E+02	.213E-09
32	.562E+00		.373E-08	.562E+00		.373E-08
33	.562E+00	.850E+02	-.373E-08	.562E+00	.850E+02	-.112E-07
34	.562E+00		.931E-09	.562E+00		-.186E-08
35	.562E+00	.800E+02	-.559E-08	.562E+00	.800E+02	-.559E-08
36	.562E+00		.186E-08	.562E+00		.000E+00
37	.562E+00	.750E+02	.000E+00	.562E+00	.750E+02	-.186E-08
38	.562E+00		.931E-09	.562E+00		.000E+00
39	.562E+00	.700E+02	-.186E-08	.562E+00	.700E+02	-.931E-09
40	.562E+00		-.931E-09	.562E+00		.000E+00
41	.562E+00	.650E+02	-.591E-09	.562E+00	.650E+02	.547E-09
42	.562E+00		-.289E-09	.562E+00		.256E-08
43	.562E+00	.600E+02	.310E-08	.562E+00	.600E+02	.331E-08
44	.707E+00		-.134E-07	.707E+00		-.723E-08
45	.703E+00		-.480E-08	.703E+00		-.484E-08
46	.702E+00		-.256E-08	.702E+00		.357E-09
47	.702E+00		-.320E-08	.702E+00		-.129E-07
48	.702E+00		-.362E-08	.702E+00		-.296E-08
49	.702E+00		.116E-08	.702E+00		-.409E-08
50	.702E+00		-.306E-09	.702E+00		-.218E-08
51	.702E+00		.146E-09	.702E+00		.304E-08
52	.702E+00		.295E-08	.702E+00		.295E-08
53	.754E+00	.100E+03	-.121E-07	.754E+00	.100E+03	-.510E-08
54	.750E+00		-.373E-08	.750E+00		.234E-08
55	.749E+00	.950E+02	-.621E-08	.749E+00	.950E+02	-.477E-08
56	.749E+00		.373E-08	.749E+00		.279E-08
57	.749E+00	.900E+02	-.579E-08	.749E+00	.900E+02	.226E-08
58	.749E+00		.186E-08	.749E+00		.373E-08
59	.749E+00	.850E+02	-.138E-08	.749E+00	.850E+02	-.131E-07
60	.749E+00		-.931E-09	.749E+00		-.373E-08
61	.749E+00	.800E+02	.179E-09	.749E+00	.800E+02	-.588E-09
62	.749E+00		.279E-08	.749E+00		-.931E-09
63	.749E+00	.750E+02	.186E-08	.749E+00	.750E+02	-.559E-08
64	.749E+00		.931E-09	.749E+00		-.186E-08
65	.749E+00	.700E+02	.000E+00	.749E+00	.700E+02	-.373E-08
66	.749E+00		-.186E-08	.749E+00		.186E-08
67	.749E+00	.650E+02	.136E-08	.749E+00	.650E+02	.506E-08
68	.749E+00		.000E+00	.749E+00		.373E-08
69	.749E+00	.600E+02	.269E-08	.749E+00	.600E+02	.301E-08
70	.707E+00		-.801E-08	.707E+00		-.292E-08
71	.703E+00		-.658E-08	.703E+00		-.660E-08
72	.702E+00		-.710E-08	.702E+00		.121E-09
73	.702E+00		-.175E-08	.702E+00		-.127E-07
74	.702E+00		.873E-10	.702E+00		-.640E-09
75	.702E+00		.188E-08	.702E+00		-.449E-08
76	.702E+00		.253E-08	.702E+00		-.448E-08
77	.702E+00		.286E-08	.702E+00		.567E-08
78	.702E+00		.280E-08	.702E+00		.835E-09

79	.566E+00	.100E+03	-.671E-08	.566E+00	.100E+03	-.265E-09
80	.563E+00		-.127E-08	.562E+00		.286E-08
81	.562E+00	.950E+02	-.576E-08	.562E+00	.950E+02	-.760E-08
82	.562E+00		.373E-08	.562E+00		.512E-08
83	.562E+00	.900E+02	-.856E-08	.562E+00	.900E+02	-.210E-08
84	.562E+00		.163E-08	.562E+00		.140E-08
85	.562E+00	.850E+02	-.148E-08	.562E+00	.850E+02	-.115E-07
86	.562E+00		.233E-09	.562E+00		.698E-09
87	.562E+00	.800E+02	-.146E-09	.562E+00	.800E+02	-.757E-09
88	.562E+00		.163E-08	.562E+00		.000E+00
89	.562E+00	.750E+02	.317E-08	.562E+00	.750E+02	-.186E-08
90	.562E+00		-.931E-09	.562E+00		.000E+00
91	.562E+00	.700E+02	.499E-08	.562E+00	.700E+02	-.397E-08
92	.562E+00		-.351E-08	.562E+00		.261E-08
93	.562E+00	.650E+02	.460E-08	.562E+00	.650E+02	.516E-08
94	.562E+00		.951E-09	.562E+00		.396E-08
95	.562E+00	.600E+02	.251E-08	.562E+00	.600E+02	.685E-09
96	.330E+00		-.413E-08	.330E+00		-.990E-09
97	.328E+00		-.312E-08	.328E+00		-.453E-08
98	.328E+00		-.450E-08	.328E+00		-.108E-08
99	.328E+00		-.252E-08	.328E+00		-.644E-08
100	.328E+00		-.291E-10	.328E+00		-.102E-08
101	.328E+00		.531E-09	.328E+00		-.105E-08
102	.328E+00		.276E-08	.328E+00		-.227E-08
103	.328E+00		.227E-08	.328E+00		.301E-08
104	.328E+00		.181E-08	.328E+00		.680E-09
105	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
106	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
107	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
108	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
109	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
110	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
111	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
114	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
115	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
116	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
117	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
118	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
119	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
120	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 126
SEBESAR = .0008

PENYELESAIAN SUDAH MENCAPAI KONVERGENSI !

ALIRAN DALAM PIPA EKSPANSI BERANGSUR

ALIRAN DALAM PIPA EKSPANSI BERANGSUR

DATA KONTROL

IAXSY = 0 NELEM = 32 NITER = 30 NPOIN = 121 NRPON = 45
 NICON = 0 NECON = 120 NNECN = 0 NNECN = 0

SIFAT FISIK

DENSY = 908.00000 RELAX = .50000 TOLER = .10000
 VISCY = .13257 XFORC = .00000 YFORC = .00000

TOPOLOGI ELEMEN

ELEMENT	NODE NUMBERS							
1	1	2	3	19	29	28	27	18
2	27	28	29	45	55	54	53	44
3	53	54	55	71	81	80	79	70
4	79	80	81	97	107	106	105	96
5	3	4	5	20	31	30	29	19
6	29	30	31	46	57	56	55	45
7	55	56	57	72	83	82	81	71
8	81	82	83	98	109	108	107	97
9	5	6	7	21	33	32	31	20
10	31	32	33	47	59	58	57	46
11	57	58	59	73	85	84	83	72
12	83	84	85	99	111	110	109	98
13	7	8	9	22	35	34	33	21
14	33	34	35	48	61	60	59	47
15	59	60	61	74	87	86	85	73
16	85	86	87	100	113	112	111	99
17	9	10	11	23	37	36	35	22
18	35	36	37	49	63	62	61	48
19	61	62	63	75	89	88	87	74
20	87	88	89	101	115	114	113	100
21	11	12	13	24	39	38	37	23
22	37	38	39	50	65	64	63	49
23	63	64	65	76	91	90	89	75
24	89	90	91	102	117	116	115	101
25	13	14	15	25	41	40	39	24
26	39	40	41	51	67	66	65	50
27	65	66	67	77	93	92	91	76
28	91	92	93	103	119	118	117	102
29	15	16	17	26	43	42	41	25
30	41	42	43	52	69	68	67	51
31	67	68	69	78	95	94	93	77
32	93	94	95	104	121	120	119	103

KOORDINAT NODE

NODE	DOF	NDOF	X-COORD	Y-COORD	U-VEL	PRESSURE	Y-VEL
1	1	3	1.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
2	4	2	1.2500	1.1000	.0000		.0000
3	6	3	1.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
4	9	2	1.7500	1.1000	.0000		.0000

5	11	3	2.0000	1.1000	.0000	.0000	.0000
6	14	2	2.2500	1.1000	.0000		.0000
7	16	3	2.5000	1.1000	.0000	.0000	.0000
8	19	2	2.7500	1.0750	.0000		.0000
9	21	3	3.0000	1.0500	.0000	.0000	.0000
10	24	2	3.2500	1.0250	.0000		.0000
11	26	3	3.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
12	29	2	3.7500	1.0000	.0000		.0000
13	31	3	4.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
14	34	2	4.2500	1.0000	.0000		.0000
15	36	3	4.5000	1.0000	.0000	.0000	.0000
16	39	2	4.7500	1.0000	.0000		.0000
17	41	3	5.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
18	44	2	1.0000	1.1500	.0000		.0000
19	46	2	1.5000	1.1500	.0000		.0000
20	48	2	2.0000	1.1500	.0000		.0000
21	50	2	2.5000	1.1500	.0000		.0000
22	52	2	3.0000	1.1250	.0000		.0000
23	54	2	3.5000	1.1000	.0000		.0000
24	56	2	4.0000	1.1000	.0000		.0000
25	58	2	4.5000	1.1000	.0000		.0000
26	60	2	5.0000	1.1000	.0000		.0000
27	62	3	1.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
28	65	2	1.2500	1.2000	.0000		.0000
29	67	3	1.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
30	70	2	1.7500	1.2000	.0000		.0000
31	72	3	2.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
32	75	2	2.2500	1.2000	.0000		.0000
33	77	3	2.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
34	80	2	2.7500	1.2000	.0000		.0000
35	82	3	3.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
36	85	2	3.2500	1.2000	.0000		.0000
37	87	3	3.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
38	90	2	3.7500	1.2000	.0000		.0000
39	92	3	4.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
40	95	2	4.2500	1.2000	.0000		.0000
41	97	3	4.5000	1.2000	.0000	.0000	.0000
42	100	2	4.7500	1.2000	.0000		.0000
43	102	3	5.0000	1.2000	.0000	.0000	.0000
44	105	2	1.0000	1.2500	.0000		.0000
45	107	2	1.5000	1.2500	.0000		.0000
46	109	2	2.0000	1.2500	.0000		.0000
47	111	2	2.5000	1.2500	.0000		.0000
48	113	2	3.0000	1.2500	.0000		.0000
49	115	2	3.5000	1.2500	.0000		.0000
50	117	2	4.0000	1.2500	.0000		.0000
51	119	2	4.5000	1.2500	.0000		.0000
52	121	2	5.0000	1.2500	.0000		.0000
53	123	3	1.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
54	126	2	1.2500	1.3000	.0000		.0000
55	128	3	1.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
56	131	2	1.7500	1.3000	.0000		.0000
57	133	3	2.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
58	136	2	2.2500	1.3000	.0000		.0000
59	138	3	2.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
60	141	2	2.7500	1.3000	.0000		.0000
61	143	3	3.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
62	146	2	3.2500	1.3000	.0000		.0000
63	148	3	3.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
64	151	2	3.7500	1.3000	.0000		.0000
65	153	3	4.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
66	156	2	4.2500	1.3000	.0000		.0000
67	158	3	4.5000	1.3000	.0000	.0000	.0000
68	161	2	4.7500	1.3000	.0000		.0000
69	163	3	5.0000	1.3000	.0000	.0000	.0000
70	166	2	1.0000	1.3500	.0000		.0000
71	168	2	1.5000	1.3500	.0000		.0000
72	170	2	2.0000	1.3500	.0000		.0000
73	172	2	2.5000	1.3500	.0000		.0000
74	174	2	3.0000	1.3500	.0000		.0000
75	176	2	3.5000	1.3500	.0000		.0000
76	178	2	4.0000	1.3500	.0000		.0000
77	180	2	4.5000	1.3500	.0000		.0000
78	182	2	5.0000	1.3500	.0000		.0000

79	184	3	1.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
80	187	2	1.2500	1.4000	.0000		.0000
81	189	3	1.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
82	192	2	1.7500	1.4000	.0000		.0000
83	194	3	2.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
84	197	2	2.2500	1.4000	.0000		.0000
85	199	3	2.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
86	202	2	2.7500	1.4000	.0000		.0000
87	204	3	3.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
88	207	2	3.2500	1.4000	.0000		.0000
89	209	3	3.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
90	212	2	3.7500	1.4000	.0000		.0000
91	214	3	4.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
92	217	2	4.2500	1.4000	.0000		.0000
93	219	3	4.5000	1.4000	.0000	.0000	.0000
94	222	2	4.7500	1.4000	.0000		.0000
95	224	3	5.0000	1.4000	.0000	.0000	.0000
96	227	2	1.0000	1.4500	.0000		.0000
97	229	2	1.5000	1.4500	.0000		.0000
98	231	2	2.0000	1.4500	.0000		.0000
99	233	2	2.5000	1.4500	.0000		.0000
100	235	2	3.0000	1.4750	.0000		.0000
101	237	2	3.5000	1.5000	.0000		.0000
102	239	2	4.0000	1.5000	.0000		.0000
103	241	2	4.5000	1.5000	.0000		.0000
104	243	2	5.0000	1.5000	.0000		.0000
105	245	3	1.0000	1.5000	.0000	.0000	.0000
106	248	2	1.2500	1.5000	.0000		.0000
107	250	3	1.5000	1.5000	.0000	.0000	.0000
108	253	2	1.7500	1.5000	.0000		.0000
109	255	3	2.0000	1.5000	.0000	.0000	.0000
110	258	2	2.2500	1.5000	.0000		.0000
111	260	3	2.5000	1.5000	.0000	.0000	.0000
112	263	2	2.7500	1.5250	.0000		.0000
113	265	3	3.0000	1.5500	.0000	.0000	.0000
114	268	2	3.2500	1.5750	.0000		.0000
115	270	3	3.5000	1.6000	.0000	.0000	.0000
116	273	2	3.7500	1.6000	.0000		.0000
117	275	3	4.0000	1.6000	.0000	.0000	.0000
118	278	2	4.2500	1.6000	.0000		.0000
119	280	3	4.5000	1.6000	.0000	.0000	.0000
120	283	2	4.7500	1.6000	.0000		.0000
121	285	3	5.0000	1.6000	.0000	.0000	.0000

SYARAT BATAS

NODE	U-FIXED	PRESSURE	V-FIXED
1	.0000		
2	.0000		
3	.0000		
4	.0000		
5	.0000		
6	.0000		
7	.0000		
8	.0000		
9	.0000		
10	.0000		
11	.0000		
12	.0000		
13	.0000		
14	.0000		
15	.0000		
16	.0000		
17	.0000		
18	.3300		
27	.5660		
44	.7070		
53	.7540		
70	.7070		
79	.5660		
96	.3300		
105	.0000		

106 .0000
 107 .0000
 108 .0000
 109 .0000
 110 .0000
 111 .0000
 112 .0000
 113 .0000
 114 .0000
 115 .0000
 116 .0000
 117 .0000
 118 .0000
 119 .0000
 120 .0000
 121 .0000

1 10.0000
 3 10.0000
 5 10.0000
 7 10.0000
 9 10.0000
 11 10.0000
 13 10.0000
 15 10.0000
 17 10.0000
 27 10.0000
 29 10.0000
 31 10.0000
 33 10.0000
 35 10.0000
 37 10.0000
 39 10.0000
 41 10.0000
 43 10.0000
 53 10.0000
 55 10.0000
 57 10.0000
 59 10.0000
 61 10.0000
 63 10.0000
 65 10.0000
 67 10.0000
 69 10.0000
 79 10.0000
 81 10.0000
 83 10.0000
 85 10.0000
 87 10.0000
 89 10.0000
 91 10.0000
 93 10.0000
 95 10.0000
 105 10.0000
 107 10.0000
 109 10.0000
 111 10.0000
 113 10.0000
 115 10.0000
 117 10.0000
 119 10.0000
 121 10.0000

1 .0000
 2 .0000
 3 .0000
 4 .0000
 5 .0000
 6 .0000
 7 .0000
 8 .0000
 9 .0000
 10 .0000
 11 .0000
 12 .0000
 13 .0000

14	.0000
15	.0000
16	.0000
17	.0000
105	.0000
106	.0000
107	.0000
108	.0000
109	.0000
110	.0000
111	.0000
112	.0000
113	.0000
114	.0000
115	.0000
116	.0000
117	.0000
118	.0000
119	.0000
120	.0000
121	.0000

HASIL ITERASI NOMOR 1

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
6	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
12	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
13	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
16	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
17	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
18	.330E+00		-.193E-08	.000E+00		.000E+00
19	.714E-01		-.319E-08	.000E+00		.000E+00
20	.693E-01		-.127E-08	.000E+00		.000E+00
21	.714E-01		-.648E-08	.000E+00		.000E+00
22	.122E+00		.238E-08	.000E+00		.000E+00
23	.177E+00		.126E-08	.000E+00		.000E+00
24	.190E+00		.294E-08	.000E+00		.000E+00
25	.190E+00		.349E-08	.000E+00		.000E+00
26	.191E+00		.186E-08	.000E+00		.000E+00
27	.566E+00	.100E+03	-.190E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
28	.165E+00		-.147E-08	.000E+00		.000E+00
29	.140E+00	.950E+02	-.603E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
30	.117E+00		.186E-08	.000E+00		.000E+00
31	.115E+00	.900E+02	-.279E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
32	.115E+00		.279E-08	.000E+00		.000E+00
33	.124E+00	.850E+02	-.910E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
34	.157E+00		-.931E-09	.000E+00		.000E+00
35	.201E+00	.800E+02	.426E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
36	.247E+00		.279E-08	.000E+00		.000E+00
37	.283E+00	.750E+02	.373E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
38	.299E+00		.466E-08	.000E+00		.000E+00
39	.303E+00	.700E+02	.373E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
40	.305E+00		.373E-08	.000E+00		.000E+00
41	.305E+00	.650E+02	.645E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
42	.305E+00		.931E-08	.000E+00		.000E+00
43	.305E+00	.600E+02	.459E-08	.000E+00	.000E+00	.000E+00
44	.707E+00		-.426E-09	.000E+00		.000E+00
45	.165E+00		-.684E-08	.000E+00		.000E+00
46	.146E+00		-.395E-08	.000E+00		.000E+00
47	.154E+00		-.118E-07	.000E+00		.000E+00

48	.230E+00	.683E-09	.000E+00	.000E+00
49	.310E+00	.650E-08	.000E+00	.000E+00
50	.332E+00	.471E-08	.000E+00	.000E+00
51	.334E+00	.685E-08	.000E+00	.000E+00
52	.334E+00	.515E-08	.000E+00	.000E+00
53	.754E+00	.100E+03	.865E-09	.000E+00
54	.229E+00		.186E-08	.000E+00
55	.183E+00	.950E+02	.816E-08	.000E+00
56	.157E+00		.186E-08	.000E+00
57	.153E+00	.900E+02	.541E-08	.000E+00
58	.154E+00		.373E-08	.000E+00
59	.165E+00	.850E+02	.150E-07	.000E+00
60	.196E+00		.279E-08	.000E+00
61	.239E+00	.800E+02	.186E-08	.000E+00
62	.284E+00		.186E-08	.000E+00
63	.319E+00	.750E+02	.931E-08	.000E+00
64	.337E+00		.373E-08	.000E+00
65	.341E+00	.700E+02	.559E-08	.000E+00
66	.343E+00		.466E-08	.000E+00
67	.343E+00	.650E+02	.695E-08	.000E+00
68	.343E+00		.101E-07	.000E+00
69	.343E+00	.600E+02	.531E-08	.000E+00
70	.707E+00		.424E-08	.000E+00
71	.165E+00		.104E-07	.000E+00
72	.146E+00		.679E-08	.000E+00
73	.154E+00		.127E-07	.000E+00
74	.230E+00		.744E-08	.000E+00
75	.310E+00		.835E-08	.000E+00
76	.332E+00		.317E-08	.000E+00
77	.334E+00		.587E-08	.000E+00
78	.334E+00		.458E-08	.000E+00
79	.566E+00	.100E+03	.659E-08	.000E+00
80	.165E+00		.186E-08	.000E+00
81	.140E+00	.950E+02	.121E-07	.000E+00
82	.117E+00		.605E-09	.000E+00
83	.115E+00	.900E+02	.693E-08	.000E+00
84	.115E+00		.140E-08	.000E+00
85	.124E+00	.850E+02	.885E-08	.000E+00
86	.157E+00		.163E-08	.000E+00
87	.201E+00	.800E+02	.968E-08	.000E+00
88	.247E+00		.000E+00	.000E+00
89	.283E+00	.750E+02	.520E-08	.000E+00
90	.299E+00		.373E-08	.000E+00
91	.303E+00	.700E+02	.164E-08	.000E+00
92	.305E+00		.476E-08	.000E+00
93	.305E+00	.650E+02	.422E-08	.000E+00
94	.305E+00		.732E-08	.000E+00
95	.305E+00	.600E+02	.398E-08	.000E+00
96	.330E+00		.471E-08	.000E+00
97	.714E-01		.666E-08	.000E+00
98	.693E-01		.461E-08	.000E+00
99	.714E-01		.439E-08	.000E+00
100	.122E+00		.663E-08	.000E+00
101	.177E+00		.231E-08	.000E+00
102	.190E+00		.149E-09	.000E+00
103	.190E+00		.259E-08	.000E+00
104	.191E+00		.181E-08	.000E+00
105	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00
106	.000E+00		.000E+00	.000E+00
107	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00
108	.000E+00		.000E+00	.000E+00
109	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00
110	.000E+00		.000E+00	.000E+00
111	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00
113	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00
114	.000E+00		.000E+00	.000E+00
115	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00
116	.000E+00		.000E+00	.000E+00
117	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00
118	.000E+00		.000E+00	.000E+00
119	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00
120	.000E+00		.000E+00	.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 286
SEBESAR = 1.0000

HASIL ITERASI NOMOR 2

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
4	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
6	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
8	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
12	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
13	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
16	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
17	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
18	.330E+00		-.364E-08	.330E+00		-.193E-08
19	.717E-01		-.362E-08	.714E-01		-.319E-08
20	.693E-01		-.486E-08	.693E-01		-.127E-08
21	.707E-01		-.131E-08	.714E-01		-.648E-08
22	.118E+00		-.188E-08	.122E+00		.238E-08
23	.173E+00		-.143E-08	.177E+00		.126E-08
24	.189E+00		.341E-08	.190E+00		.294E-08
25	.190E+00		.236E-08	.190E+00		.349E-08
26	.191E+00		.279E-08	.191E+00		.186E-08
27	.566E+00	.100E+03	-.597E-08	.566E+00	.100E+03	-.190E-08
28	.189E+00		-.466E-09	.165E+00		-.147E-08
29	.140E+00	.950E+02	-.767E-08	.140E+00	.950E+02	-.603E-08
30	.117E+00		.373E-08	.117E+00		.186E-08
31	.115E+00	.900E+02	-.687E-08	.115E+00	.900E+02	-.279E-08
32	.115E+00		.279E-08	.115E+00		.279E-08
33	.123E+00	.850E+02	-.341E-08	.124E+00	.850E+02	-.910E-08
34	.154E+00		.186E-08	.157E+00		-.931E-09
35	.195E+00	.800E+02	-.386E-09	.201E+00	.800E+02	.426E-08
36	.239E+00		.931E-09	.247E+00		.279E-08
37	.276E+00	.750E+02	-.186E-08	.283E+00	.750E+02	.373E-08
38	.295E+00		.931E-09	.299E+00		.466E-08
39	.301E+00	.700E+02	.559E-08	.303E+00	.700E+02	.373E-08
40	.304E+00		.186E-08	.305E+00		.373E-08
41	.305E+00	.650E+02	.530E-08	.305E+00	.650E+02	.645E-08
42	.305E+00		.745E-08	.305E+00		.931E-08
43	.305E+00	.600E+02	.610E-08	.305E+00	.600E+02	.459E-08
44	.707E+00		-.650E-08	.707E+00		-.426E-09
45	.166E+00		-.982E-08	.165E+00		-.684E-08
46	.145E+00		-.599E-08	.146E+00		-.395E-08
47	.152E+00		-.572E-08	.154E+00		-.118E-07
48	.222E+00		.749E-09	.230E+00		.683E-09
49	.302E+00		-.239E-08	.310E+00		.650E-08
50	.330E+00		.303E-08	.332E+00		.471E-08
51	.333E+00		.645E-08	.334E+00		.685E-08
52	.334E+00		.593E-08	.334E+00		.515E-08
53	.754E+00	.100E+03	-.765E-08	.754E+00	.100E+03	-.865E-09
54	.264E+00		.000E+00	.229E+00		-.186E-08
55	.182E+00	.950E+02	-.108E-07	.183E+00	.950E+02	-.816E-08
56	.157E+00		.373E-08	.157E+00		.186E-08
57	.153E+00	.900E+02	-.481E-08	.153E+00	.900E+02	-.541E-08
58	.154E+00		.186E-08	.154E+00		.373E-08
59	.163E+00	.850E+02	-.570E-08	.165E+00	.850E+02	-.150E-07
60	.191E+00		.279E-08	.196E+00		-.279E-08
61	.232E+00	.800E+02	.000E+00	.239E+00	.800E+02	-.186E-08
62	.275E+00		.279E-08	.284E+00		.186E-08
63	.311E+00	.750E+02	-.186E-08	.319E+00	.750E+02	.931E-08
64	.332E+00		.279E-08	.337E+00		.373E-08
65	.339E+00	.700E+02	.000E+00	.341E+00	.700E+02	.559E-08

66	.342E+00		.466E-08	.343E+00		.466E-08
67	.343E+00	.650E+02	.641E-08	.343E+00	.650E+02	.695E-08
68	.343E+00		.102E-07	.343E+00		.101E-07
69	.343E+00	.600E+02	.674E-08	.343E+00	.600E+02	.531E-08
70	.707E+00		-.834E-08	.707E+00		-.424E-08
71	.166E+00		-.105E-07	.165E+00		-.104E-07
72	.145E+00		-.592E-08	.146E+00		-.679E-08
73	.152E+00		-.541E-08	.154E+00		-.127E-07
74	.222E+00		-.259E-08	.230E+00		-.744E-08
75	.302E+00		-.380E-08	.310E+00		.835E-08
76	.330E+00		.109E-08	.332E+00		.317E-08
77	.333E+00		.691E-08	.334E+00		.587E-08
78	.334E+00		.777E-08	.334E+00		.458E-08
79	.566E+00	.100E+03	-.934E-08	.566E+00	.100E+03	-.659E-08
80	.189E+00		-.174E-08	.165E+00		-.186E-08
81	.140E+00	.950E+02	-.789E-08	.140E+00	.950E+02	-.121E-07
82	.117E+00		.279E-08	.117E+00		.605E-09
83	.115E+00	.900E+02	-.570E-08	.115E+00	.900E+02	-.693E-08
84	.115E+00		.698E-09	.115E+00		.140E-08
85	.123E+00	.850E+02	-.501E-08	.124E+00	.850E+02	-.885E-08
86	.154E+00		-.931E-09	.157E+00		-.163E-08
87	.195E+00	.800E+02	-.415E-08	.201E+00	.800E+02	-.968E-08
88	.239E+00		.326E-08	.247E+00		.000E+00
89	.276E+00	.750E+02	-.595E-08	.283E+00	.750E+02	.520E-08
90	.295E+00		.698E-09	.299E+00		.373E-08
91	.301E+00	.700E+02	.203E-08	.303E+00	.700E+02	.164E-08
92	.304E+00		.435E-08	.305E+00		.476E-08
93	.305E+00	.650E+02	.680E-08	.305E+00	.650E+02	.422E-08
94	.305E+00		.586E-08	.305E+00		.732E-08
95	.305E+00	.600E+02	.890E-08	.305E+00	.600E+02	.398E-08
96	.330E+00		-.626E-08	.330E+00		-.471E-08
97	.717E-01		-.444E-08	.714E-01		-.666E-08
98	.693E-01		-.389E-08	.693E-01		-.461E-08
99	.707E-01		-.193E-08	.714E-01		-.439E-08
100	.118E+00		-.336E-08	.122E+00		-.663E-08
101	.173E+00		-.431E-08	.177E+00		.231E-08
102	.189E+00		.121E-08	.190E+00		.149E-09
103	.190E+00		.433E-08	.190E+00		.259E-08
104	.191E+00		.442E-08	.191E+00		.181E-08
105	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
106	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
107	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
108	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
109	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
110	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
111	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
114	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
115	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
116	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
117	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
118	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
119	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
120	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 126
SEBESAR = .1351

HASIL ITERASI NOMOR 3

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
4	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
6	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
8	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00

10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
12	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
13	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
16	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
17	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
18	.330E+00		-.409E-08	.330E+00		-.278E-08
19	.718E-01		-.495E-08	.716E-01		-.341E-08
20	.693E-01		-.215E-08	.693E-01		-.307E-08
21	.707E-01		.185E-08	.711E-01		-.389E-08
22	.118E+00		.147E-08	.120E+00		.248E-09
23	.173E+00		.165E-08	.175E+00		-.871E-10
24	.189E+00		.341E-08	.189E+00		.317E-08
25	.190E+00		.317E-08	.190E+00		.292E-08
26	.191E+00		.000E+00	.191E+00		.233E-08
27	.566E+00	.100E+03	-.616E-08	.566E+00	.100E+03	-.393E-08
28	.190E+00		-.186E-08	.177E+00		-.968E-09
29	.140E+00	.950E+02	-.959E-08	.140E+00	.950E+02	-.685E-08
30	.117E+00		.186E-08	.117E+00		.279E-08
31	.115E+00	.900E+02	-.239E-08	.115E+00	.900E+02	-.483E-08
32	.115E+00		.931E-09	.115E+00		.279E-08
33	.123E+00	.850E+02	.338E-08	.124E+00	.850E+02	-.625E-08
34	.154E+00		.466E-08	.155E+00		.466E-09
35	.195E+00	.800E+02	.481E-08	.198E+00	.800E+02	.194E-08
36	.239E+00		.559E-08	.243E+00		.186E-08
37	.276E+00	.750E+02	.745E-08	.279E+00	.750E+02	.931E-09
38	.295E+00		.279E-08	.297E+00		.279E-08
39	.301E+00	.700E+02	.559E-08	.302E+00	.700E+02	.466E-08
40	.304E+00		.000E+00	.304E+00		.279E-08
41	.305E+00	.650E+02	.606E-08	.305E+00	.650E+02	.587E-08
42	.305E+00		.186E-08	.305E+00		.838E-08
43	.305E+00	.600E+02	.646E-09	.305E+00	.600E+02	.535E-08
44	.707E+00		-.675E-08	.707E+00		-.346E-08
45	.166E+00		-.111E-07	.165E+00		-.833E-08
46	.145E+00		-.393E-08	.145E+00		-.497E-08
47	.152E+00		.445E-08	.153E+00		-.875E-08
48	.222E+00		.386E-08	.226E+00		.716E-09
49	.302E+00		.718E-08	.306E+00		.206E-08
50	.330E+00		.703E-08	.331E+00		.387E-08
51	.333E+00		.645E-08	.333E+00		.665E-08
52	.334E+00		.237E-08	.334E+00		.554E-08
53	.754E+00	.100E+03	-.773E-08	.754E+00	.100E+03	-.426E-08
54	.266E+00		-.279E-08	.246E+00		-.931E-09
55	.182E+00	.950E+02	-.118E-07	.183E+00	.950E+02	-.950E-08
56	.157E+00		-.931E-09	.157E+00		.279E-08
57	.153E+00	.900E+02	-.656E-08	.153E+00	.900E+02	-.511E-08
58	.154E+00		.186E-08	.154E+00		.279E-08
59	.163E+00	.850E+02	.444E-08	.164E+00	.850E+02	-.103E-07
60	.192E+00		.559E-08	.194E+00		.000E+00
61	.232E+00	.800E+02	.000E+00	.236E+00	.800E+02	-.931E-09
62	.275E+00		.652E-08	.279E+00		.233E-08
63	.311E+00	.750E+02	.745E-08	.315E+00	.750E+02	.373E-08
64	.332E+00		.000E+00	.334E+00		.326E-08
65	.339E+00	.700E+02	.745E-08	.340E+00	.700E+02	.279E-08
66	.342E+00		-.186E-08	.342E+00		.466E-08
67	.343E+00	.650E+02	.573E-08	.343E+00	.650E+02	.668E-08
68	.343E+00		.934E-10	.343E+00		.102E-07
69	.343E+00	.600E+02	.379E-08	.343E+00	.600E+02	.603E-08
70	.707E+00		-.836E-08	.707E+00		-.629E-08
71	.166E+00		-.145E-07	.165E+00		-.105E-07
72	.145E+00		-.705E-08	.145E+00		-.635E-08
73	.152E+00		.575E-09	.153E+00		-.903E-08
74	.222E+00		-.267E-08	.226E+00		-.501E-08
75	.302E+00		.259E-08	.306E+00		.227E-08
76	.330E+00		.591E-08	.331E+00		.213E-08
77	.333E+00		.334E-08	.333E+00		.639E-08
78	.334E+00		.431E-08	.334E+00		.618E-08
79	.566E+00	.100E+03	-.938E-08	.566E+00	.100E+03	-.797E-08
80	.190E+00		-.176E-08	.177E+00		-.180E-08
81	.140E+00	.950E+02	-.144E-07	.140E+00	.950E+02	-.100E-07
82	.117E+00		.000E+00	.117E+00		.170E-08
83	.115E+00	.900E+02	-.100E-07	.115E+00	.900E+02	-.632E-08

84	.115E+00		.931E-09	.115E+00		.105E-08
85	.123E+00	.850E+02	.233E-09	.124E+00	.850E+02	-.693E-08
86	.154E+00		.186E-08	.155E+00		-.128E-08
87	.195E+00	.800E+02	-.474E-08	.198E+00	.800E+02	-.692E-08
88	.239E+00		.768E-08	.243E+00		.163E-08
89	.276E+00	.750E+02	-.185E-08	.279E+00	.750E+02	-.376E-09
90	.295E+00		.698E-09	.297E+00		.221E-08
91	.301E+00	.700E+02	.375E-08	.302E+00	.700E+02	.184E-08
92	.304E+00		.655E-09	.304E+00		.456E-08
93	.305E+00	.650E+02	.175E-08	.305E+00	.650E+02	.551E-08
94	.305E+00		.597E-09	.305E+00		.659E-08
95	.305E+00	.600E+02	.372E-08	.305E+00	.600E+02	.644E-08
96	.330E+00		-.474E-08	.330E+00		-.549E-08
97	.718E-01		-.861E-08	.716E-01		-.555E-08
98	.693E-01		-.535E-08	.693E-01		-.425E-08
99	.707E-01		-.109E-10	.711E-01		-.316E-08
100	.118E+00		-.163E-08	.120E+00		-.500E-08
101	.173E+00		-.287E-08	.175E+00		-.100E-08
102	.189E+00		.175E-08	.189E+00		.679E-09
103	.190E+00		.138E-08	.190E+00		.346E-08
104	.191E+00		.218E-08	.191E+00		.312E-08
105	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
106	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
107	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
108	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
109	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
110	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
111	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
114	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
115	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
116	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
117	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
118	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
119	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
120	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 126
SEBESAR = .0721

PENYELESAIAN SUDAH MENCAPAI KONVERGENSI !

ALIRAN DALAM PIPA BELOK

ALIRAN DALAM PIPA BELOK

DATA KONTROL

```

IAXSY = 1      NELEM = 32      NITER = 50      NPOIN = 121      NRPON = 55
NICON = 0      NBCON = 117     NBERCN = 0      NNBCN = 0

```

SIFAT FISIK

```

DENSY = 908.00000      RELAX = .50000      TOLBR = .10000
VISCY = .13257         XFORC = .00000      YFORC = .00000

```

TOPOLOGI ELEMEN

ELEMENT	NODE NUMBERS							
1	1	2	3	11	17	16	15	10
2	3	4	5	12	19	18	17	11
3	5	6	7	13	21	20	19	12
4	7	8	9	14	23	22	21	13
5	15	16	17	25	31	30	29	24
6	17	18	19	26	33	32	31	25
7	19	20	21	27	35	34	33	26
8	21	22	23	28	37	36	35	27
9	29	30	31	39	45	44	43	38
10	31	32	33	40	47	46	45	39
11	33	34	35	41	49	48	47	40
12	35	36	37	42	51	50	49	41
13	43	44	45	53	59	58	57	52
14	45	46	47	54	61	60	59	53
15	47	48	49	55	63	62	61	54
16	49	50	51	56	65	64	63	55
17	57	58	59	67	73	72	71	66
18	59	60	61	68	75	74	73	67
19	61	62	63	69	77	76	75	68
20	63	64	65	70	79	78	77	69
21	71	72	73	81	87	86	85	80
22	73	74	75	82	89	88	87	81
23	75	76	77	83	91	90	89	82
24	77	78	79	84	93	92	91	83
25	85	86	87	95	101	100	99	94
26	87	88	89	96	103	102	101	95
27	89	90	91	97	105	104	103	96
28	91	92	93	98	107	106	105	97
29	99	100	101	109	115	114	113	108
30	101	102	103	110	117	116	115	109
31	103	104	105	111	119	118	117	110
32	105	106	107	112	121	120	119	111

KOORDINAT NODE

NODE	DOF	NDOF	X-COORD	Y-COORD	U-VEL	PRESSURE	Y-VEL
1	1	3	1.0000	1.0000	.0000	.0000	.0000
2	4	2	1.0500	1.0000	.0000		.0000
3	6	3	1.1000	1.0000	.0000	.0000	.0000
4	9	2	1.1500	1.0000	.0000		.0000
5	11	3	1.2000	1.0000	.0000	.0000	.0000

6	14	2	1.2500	1.0000	.0000		.0000
7	16	3	1.3000	1.0000	.0000	.0000	.0000
8	19	2	1.3500	1.0000	.0000		.0000
9	21	3	1.4000	1.0000	.0000	.0000	.0000
10	24	2	1.0000	1.2500	.0000		.0000
11	26	2	1.1000	1.2500	.0000		.0000
12	28	2	1.2000	1.2500	.0000		.0000
13	30	2	1.3000	1.2500	.0000		.0000
14	32	2	1.4000	1.2500	.0000		.0000
15	34	3	1.0000	1.5000	.0000	.0000	.0000
16	37	2	1.0500	1.5000	.0000		.0000
17	39	3	1.1000	1.5000	.0000	.0000	.0000
18	42	2	1.1500	1.5000	.0000		.0000
19	44	3	1.2000	1.5000	.0000	.0000	.0000
20	47	2	1.2500	1.5000	.0000		.0000
21	49	3	1.3000	1.5000	.0000	.0000	.0000
22	52	2	1.3500	1.5000	.0000		.0000
23	54	3	1.4000	1.5000	.0000	.0000	.0000
24	57	2	1.0000	1.7500	.0000		.0000
25	59	2	1.1000	1.7500	.0000		.0000
26	61	2	1.2000	1.7500	.0000		.0000
27	63	2	1.3000	1.7500	.0000		.0000
28	65	2	1.4000	1.7500	.0000		.0000
29	67	3	1.0000	2.0000	.0000	.0000	.0000
30	70	2	1.0500	2.0000	.0000		.0000
31	72	3	1.1000	2.0000	.0000	.0000	.0000
32	75	2	1.1500	2.0000	.0000		.0000
33	77	3	1.2000	2.0000	.0000	.0000	.0000
34	80	2	1.2500	2.0000	.0000		.0000
35	82	3	1.3000	2.0000	.0000	.0000	.0000
36	85	2	1.3500	2.0000	.0000		.0000
37	87	3	1.4000	2.0000	.0000	.0000	.0000
38	90	2	1.0000	2.2500	.0000		.0000
39	92	2	1.1000	2.2500	.0000		.0000
40	94	2	1.2000	2.2500	.0000		.0000
41	96	2	1.3000	2.2500	.0000		.0000
42	98	2	1.4000	2.2500	.0000		.0000
43	100	3	1.0000	2.5000	.0000	.0000	.0000
44	103	2	1.0500	2.5000	.0000		.0000
45	105	3	1.1000	2.5000	.0000	.0000	.0000
46	108	2	1.1500	2.5000	.0000		.0000
47	110	3	1.2000	2.5000	.0000	.0000	.0000
48	113	2	1.2500	2.5000	.0000		.0000
49	115	3	1.3000	2.5000	.0000	.0000	.0000
50	118	2	1.3500	2.5000	.0000		.0000
51	120	3	1.4000	2.5000	.0000	.0000	.0000
52	123	2	1.0400	2.7500	.0000		.0000
53	125	2	1.1400	2.7000	.0000		.0000
54	127	2	1.2400	2.6600	.0000		.0000
55	129	2	1.3300	2.6300	.0000		.0000
56	131	2	1.4200	2.5900	.0000		.0000
57	133	3	1.1700	2.9700	.0000	.0000	.0000
58	136	2	1.2100	2.9250	.0000		.0000
59	138	3	1.2500	2.8800	.0000	.0000	.0000
60	141	2	1.2850	2.8400	.0000		.0000
61	143	3	1.3200	2.8000	.0000	.0000	.0000
62	146	2	1.3550	2.7650	.0000		.0000
63	148	3	1.3900	2.7300	.0000	.0000	.0000
64	151	2	1.4250	2.6900	.0000		.0000
65	153	3	1.4600	2.6500	.0000	.0000	.0000
66	156	2	1.3700	3.0600	.0000		.0000
67	158	2	1.4100	2.9600	.0000		.0000
68	160	2	1.4500	2.8700	.0000		.0000
69	162	2	1.4900	2.7800	.0000		.0000
70	164	2	1.5300	2.6900	.0000		.0000
71	166	3	1.6000	3.1000	.0000	.0000	.0000
72	169	2	1.6000	3.0500	.0000		.0000
73	171	3	1.6000	3.0000	.0000	.0000	.0000
74	174	2	1.6000	2.9500	.0000		.0000
75	176	3	1.6000	2.9000	.0000	.0000	.0000
76	179	2	1.6000	2.8500	.0000		.0000
77	181	3	1.6000	2.8000	.0000	.0000	.0000
78	184	2	1.6000	2.7500	.0000		.0000
79	186	3	1.6000	2.7000	.0000	.0000	.0000

80	189	2	1.8500	3.1000	.0000	.0000
81	191	2	1.8500	3.0000	.0000	.0000
82	193	2	1.8500	2.9000	.0000	.0000
83	195	2	1.8500	2.8000	.0000	.0000
84	197	2	1.8500	2.7000	.0000	.0000
85	199	3	2.1000	3.1000	.0000	.0000
86	202	2	2.1000	3.0500	.0000	.0000
87	204	3	2.1000	3.0000	.0000	.0000
88	207	2	2.1000	2.9500	.0000	.0000
89	209	3	2.1000	2.9000	.0000	.0000
90	212	2	2.1000	2.8500	.0000	.0000
91	214	3	2.1000	2.8000	.0000	.0000
92	217	2	2.1000	2.7500	.0000	.0000
93	219	3	2.1000	2.7000	.0000	.0000
94	222	2	2.3500	3.1000	.0000	.0000
95	224	2	2.3500	3.0000	.0000	.0000
96	226	2	2.3500	2.9000	.0000	.0000
97	228	2	2.3500	2.8000	.0000	.0000
98	230	2	2.3500	2.7000	.0000	.0000
99	232	3	2.6000	3.1000	.0000	.0000
100	235	2	2.6000	3.0500	.0000	.0000
101	237	3	2.6000	3.0000	.0000	.0000
102	240	2	2.6000	2.9500	.0000	.0000
103	242	3	2.6000	2.9000	.0000	.0000
104	245	2	2.6000	2.8500	.0000	.0000
105	247	3	2.6000	2.8000	.0000	.0000
106	250	2	2.6000	2.7500	.0000	.0000
107	252	3	2.6000	2.7000	.0000	.0000
108	255	2	2.8500	3.1000	.0000	.0000
109	257	2	2.8500	3.0000	.0000	.0000
110	259	2	2.8500	2.9000	.0000	.0000
111	261	2	2.8500	2.8000	.0000	.0000
112	263	2	2.8500	2.7000	.0000	.0000
113	265	3	3.1000	3.1000	.0000	.0000
114	268	2	3.1000	3.0500	.0000	.0000
115	270	3	3.1000	3.0000	.0000	.0000
116	273	2	3.1000	2.9500	.0000	.0000
117	275	3	3.1000	2.9000	.0000	.0000
118	278	2	3.1000	2.8500	.0000	.0000
119	280	3	3.1000	2.8000	.0000	.0000
120	283	2	3.1000	2.7500	.0000	.0000
121	285	3	3.1000	2.7000	.0000	.0000

SYARAT BATAS

NODE	U-FIXED	PRESSURE	V-FIXED
1	.0000		
3	.0000		
5	.0000		
7	.0000		
10	.0000		
15	.0000		
24	.0000		
29	.0000		
38	.0000		
43	.0000		
52	.0000		
57	.0000		
66	.0000		
71	.0000		
80	.0000		
85	.0000		
99	.0000		
113	.0000		
9	.0000		
14	.0000		
23	.0000		
28	.0000		
37	.0000		
42	.0000		
51	.0000		
65	.0000		

70	.0000	
79	.0000	
84	.0000	
93	.0000	
98	.0000	
107	.0000	
112	.0000	
121	.0000	
1	100.0000	
3	100.0000	
5	100.0000	
7	100.0000	
9	100.0000	
15	95.0000	
17	95.0000	
19	95.0000	
21	95.0000	
23	95.0000	
29	90.0000	
31	90.0000	
33	90.0000	
35	90.0000	
37	90.0000	
43	85.0000	
45	85.0000	
47	85.0000	
49	85.0000	
51	85.0000	
57	80.0000	
59	80.0000	
61	80.0000	
63	80.0000	
65	80.0000	
71	75.0000	
73	75.0000	
75	75.0000	
77	75.0000	
79	75.0000	
85	70.0000	
87	70.0000	
89	70.0000	
91	70.0000	
93	70.0000	
99	65.0000	
101	65.0000	
103	65.0000	
105	65.0000	
107	65.0000	
113	60.0000	
115	60.0000	
117	60.0000	
119	60.0000	
121	60.0000	
1		.0000
2		.3300
3		.5660
4		.7070
5		.7540
6		.7070
7		.5660
8		.3300
9		.0000
10		.0000
15		.0000
24		.0000
29		.0000
38		.0000
43		.0000
52		.0000
57		.0000
66		.0000
71		.0000
80		.0000
85		.0000

99	.0000
113	.0000
14	.0000
23	.0000
28	.0000
37	.0000
42	.0000
51	.0000
65	.0000
70	.0000
79	.0000
84	.0000
93	.0000
98	.0000
107	.0000
112	.0000
121	.0000

HASIL ITERASI NOMOR 1

NODE	BARU	BARU	BARU	LAMA	LAMA	LAMA
	U-VELOCITY	PRESSURE	V-VELOCITY	U-VELOCITY	PRESSURE	V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	.327E-01		.330E+00	.000E+00		.000E+00
3	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
4	.371E-01		.707E+00	.000E+00		.000E+00
5	.000E+00	.100E+03	.754E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
6	.372E-01		.707E+00	.000E+00		.000E+00
7	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
8	.327E-01		.330E+00	.000E+00		.000E+00
9	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.313E+00		.292E+00	.000E+00		.000E+00
12	.412E+00		.393E+00	.000E+00		.000E+00
13	.313E+00		.291E+00	.000E+00		.000E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
16	.196E+00		.154E+00	.000E+00		.000E+00
17	.338E+00	.950E+02	.274E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
18	.420E+00		.337E+00	.000E+00		.000E+00
19	.452E+00	.950E+02	.364E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
20	.421E+00		.337E+00	.000E+00		.000E+00
21	.339E+00	.950E+02	.275E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
22	.197E+00		.154E+00	.000E+00		.000E+00
23	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
24	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
25	.350E+00		.262E+00	.000E+00		.000E+00
26	.466E+00		.350E+00	.000E+00		.000E+00
27	.349E+00		.261E+00	.000E+00		.000E+00
28	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
29	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
30	.205E+00		.153E+00	.000E+00		.000E+00
31	.349E+00	.900E+02	.260E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
32	.439E+00		.327E+00	.000E+00		.000E+00
33	.468E+00	.900E+02	.348E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
34	.444E+00		.331E+00	.000E+00		.000E+00
35	.359E+00	.900E+02	.267E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
36	.210E+00		.157E+00	.000E+00		.000E+00
37	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
38	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
39	.359E+00		.267E+00	.000E+00		.000E+00
40	.478E+00		.355E+00	.000E+00		.000E+00
41	.353E+00		.262E+00	.000E+00		.000E+00
42	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
43	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
44	.211E+00		.157E+00	.000E+00		.000E+00
45	.367E+00	.850E+02	.273E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
46	.475E+00		.353E+00	.000E+00		.000E+00
47	.526E+00	.850E+02	.391E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
48	.522E+00		.388E+00	.000E+00		.000E+00
49	.460E+00	.850E+02	.342E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
50	.258E+00		.192E+00	.000E+00		.000E+00
51	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

52	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
53	.394E+00	.293E+00	.000E+00	.000E+00
54	.560E+00	.416E+00	.000E+00	.000E+00
55	.506E+00	.376E+00	.000E+00	.000E+00
56	.387E+00	.288E+00	.000E+00	.000E+00
57	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00
58	.212E+00	.157E+00	.000E+00	.000E+00
59	.379E+00	.800E+02	.281E+00	.000E+00
60	.487E+00	.361E+00	.000E+00	.000E+00
61	.548E+00	.800E+02	.406E+00	.000E+00
62	.560E+00	.415E+00	.000E+00	.000E+00
63	.519E+00	.800E+02	.385E+00	.000E+00
64	.314E+00	.233E+00	.000E+00	.000E+00
65	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00
66	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
67	.373E+00	.276E+00	.000E+00	.000E+00
68	.517E+00	.382E+00	.000E+00	.000E+00
69	.424E+00	.313E+00	.000E+00	.000E+00
70	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
71	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00
72	.205E+00	.152E+00	.000E+00	.000E+00
73	.357E+00	.750E+02	.264E+00	.000E+00
74	.452E+00	.333E+00	.000E+00	.000E+00
75	.488E+00	.750E+02	.360E+00	.000E+00
76	.472E+00	.349E+00	.000E+00	.000E+00
77	.387E+00	.750E+02	.286E+00	.000E+00
78	.231E+00	.171E+00	.000E+00	.000E+00
79	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00
80	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
81	.362E+00	.267E+00	.000E+00	.000E+00
82	.498E+00	.367E+00	.000E+00	.000E+00
83	.376E+00	.277E+00	.000E+00	.000E+00
84	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
85	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00
86	.313E+00	.230E+00	.000E+00	.000E+00
87	.568E+00	.700E+02	.418E+00	.000E+00
88	.640E+00	.471E+00	.000E+00	.000E+00
89	.652E+00	.700E+02	.481E+00	.000E+00
90	.583E+00	.430E+00	.000E+00	.000E+00
91	.455E+00	.700E+02	.336E+00	.000E+00
92	.258E+00	.190E+00	.000E+00	.000E+00
93	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00
94	.112E+01	.825E+00	.000E+00	.000E+00
95	.972E+00	.716E+00	.000E+00	.000E+00
96	.843E+00	.621E+00	.000E+00	.000E+00
97	.537E+00	.395E+00	.000E+00	.000E+00
98	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
99	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00
100	.422E+00	.311E+00	.000E+00	.000E+00
101	.788E+00	.650E+02	.580E+00	.000E+00
102	.842E+00	.620E+00	.000E+00	.000E+00
103	.840E+00	.650E+02	.618E+00	.000E+00
104	.727E+00	.535E+00	.000E+00	.000E+00
105	.554E+00	.650E+02	.408E+00	.000E+00
106	.309E+00	.227E+00	.000E+00	.000E+00
107	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00
108	.120E+01	.882E+00	.000E+00	.000E+00
109	.103E+01	.756E+00	.000E+00	.000E+00
110	.892E+00	.656E+00	.000E+00	.000E+00
111	.566E+00	.417E+00	.000E+00	.000E+00
112	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
113	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00
114	.436E+00	.321E+00	.000E+00	.000E+00
115	.814E+00	.600E+02	.599E+00	.000E+00
116	.866E+00	.637E+00	.000E+00	.000E+00
117	.857E+00	.600E+02	.631E+00	.000E+00
118	.741E+00	.545E+00	.000E+00	.000E+00
119	.562E+00	.600E+02	.414E+00	.000E+00
120	.313E+00	.230E+00	.000E+00	.000E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00

HASIL ITERASI NOMOR 2

NODE	BARU			LAMA		
	U-VELOCITY	PRESSURE	V-VELOCITY	U-VELOCITY	PRESSURE	V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.296E-01		.330E+00	.327E-01		.330E+00
3	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
4	.280E-01		.707E+00	.371E-01		.707E+00
5	.000E+00	.100E+03	.754E+00	.000E+00	.100E+03	.754E+00
6	.290E-01		.707E+00	.372E-01		.707E+00
7	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
8	.318E-01		.330E+00	.327E-01		.330E+00
9	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.270E+00		.289E+00	.313E+00		.292E+00
12	.372E+00		.418E+00	.412E+00		.393E+00
13	.304E+00		.328E+00	.313E+00		.291E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
16	.175E+00		.138E+00	.196E+00		.154E+00
17	.306E+00	.950E+02	.252E+00	.338E+00	.950E+02	.274E+00
18	.393E+00		.318E+00	.420E+00		.337E+00
19	.440E+00	.950E+02	.356E+00	.452E+00	.950E+02	.364E+00
20	.427E+00		.345E+00	.421E+00		.337E+00
21	.355E+00	.950E+02	.289E+00	.339E+00	.950E+02	.275E+00
22	.212E+00		.168E+00	.197E+00		.154E+00
23	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
24	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
25	.318E+00		.239E+00	.350E+00		.262E+00
26	.453E+00		.341E+00	.466E+00		.350E+00
27	.366E+00		.275E+00	.349E+00		.261E+00
28	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
29	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
30	.183E+00		.137E+00	.205E+00		.153E+00
31	.316E+00	.900E+02	.236E+00	.349E+00	.900E+02	.260E+00
32	.410E+00		.306E+00	.439E+00		.327E+00
33	.455E+00	.900E+02	.338E+00	.468E+00	.900E+02	.348E+00
34	.450E+00		.335E+00	.444E+00		.331E+00
35	.376E+00	.900E+02	.280E+00	.359E+00	.900E+02	.267E+00
36	.225E+00		.168E+00	.210E+00		.157E+00
37	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
38	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
39	.321E+00		.239E+00	.359E+00		.267E+00
40	.459E+00		.341E+00	.478E+00		.355E+00
41	.367E+00		.273E+00	.353E+00		.262E+00
42	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
43	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
44	.182E+00		.135E+00	.211E+00		.157E+00
45	.320E+00	.850E+02	.238E+00	.367E+00	.850E+02	.273E+00
46	.426E+00		.316E+00	.475E+00		.353E+00
47	.487E+00	.850E+02	.362E+00	.526E+00	.850E+02	.391E+00
48	.503E+00		.374E+00	.522E+00		.388E+00
49	.459E+00	.850E+02	.342E+00	.460E+00	.850E+02	.342E+00
50	.263E+00		.196E+00	.258E+00		.192E+00
51	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
52	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
53	.355E+00		.264E+00	.394E+00		.293E+00
54	.528E+00		.392E+00	.560E+00		.416E+00
55	.500E+00		.371E+00	.506E+00		.376E+00
56	.398E+00		.296E+00	.387E+00		.288E+00
57	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
58	.207E+00		.153E+00	.212E+00		.157E+00
59	.370E+00	.800E+02	.274E+00	.379E+00	.800E+02	.281E+00
60	.477E+00		.354E+00	.487E+00		.361E+00
61	.541E+00	.800E+02	.402E+00	.548E+00	.800E+02	.406E+00
62	.561E+00		.416E+00	.560E+00		.415E+00
63	.527E+00	.800E+02	.391E+00	.519E+00	.800E+02	.385E+00
64	.322E+00		.239E+00	.314E+00		.233E+00
65	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
66	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
67	.387E+00		.286E+00	.373E+00		.276E+00
68	.527E+00		.390E+00	.517E+00		.382E+00
69	.425E+00		.315E+00	.424E+00		.313E+00

70	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
71	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
72	.220E+00		.162E+00	.205E+00		.152E+00
73	.374E+00	.750E+02	.276E+00	.357E+00	.750E+02	.264E+00
74	.468E+00		.345E+00	.452E+00		.333E+00
75	.494E+00	.750E+02	.365E+00	.488E+00	.750E+02	.360E+00
76	.467E+00		.345E+00	.472E+00		.349E+00
77	.376E+00	.750E+02	.277E+00	.387E+00	.750E+02	.286E+00
78	.220E+00		.163E+00	.231E+00		.171E+00
79	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
80	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
81	.369E+00		.272E+00	.362E+00		.267E+00
82	.475E+00		.351E+00	.498E+00		.367E+00
83	.339E+00		.250E+00	.376E+00		.277E+00
84	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
85	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
86	.262E+00		.194E+00	.313E+00		.230E+00
87	.474E+00	.700E+02	.350E+00	.568E+00	.700E+02	.418E+00
88	.527E+00		.388E+00	.640E+00		.471E+00
89	.528E+00	.700E+02	.389E+00	.652E+00	.700E+02	.481E+00
90	.465E+00		.343E+00	.583E+00		.430E+00
91	.360E+00	.700E+02	.265E+00	.455E+00	.700E+02	.336E+00
92	.203E+00		.150E+00	.258E+00		.190E+00
93	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
94	.899E+00		.663E+00	.112E+01		.825E+00
95	.751E+00		.553E+00	.972E+00		.716E+00
96	.627E+00		.462E+00	.843E+00		.621E+00
97	.389E+00		.287E+00	.537E+00		.395E+00
98	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
99	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
100	.369E+00		.272E+00	.422E+00		.311E+00
101	.682E+00	.650E+02	.502E+00	.788E+00	.650E+02	.580E+00
102	.687E+00		.506E+00	.842E+00		.620E+00
103	.650E+00	.650E+02	.479E+00	.840E+00	.650E+02	.618E+00
104	.544E+00		.401E+00	.727E+00		.535E+00
105	.404E+00	.650E+02	.298E+00	.554E+00	.650E+02	.408E+00
106	.225E+00		.166E+00	.309E+00		.227E+00
107	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
108	.976E+00		.720E+00	.120E+01		.882E+00
109	.794E+00		.585E+00	.103E+01		.756E+00
110	.666E+00		.491E+00	.892E+00		.656E+00
111	.409E+00		.302E+00	.566E+00		.417E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
114	.422E+00		.311E+00	.436E+00		.321E+00
115	.752E+00	.600E+02	.554E+00	.814E+00	.600E+02	.599E+00
116	.737E+00		.543E+00	.866E+00		.637E+00
117	.677E+00	.600E+02	.499E+00	.857E+00	.600E+02	.631E+00
118	.562E+00		.414E+00	.741E+00		.545E+00
119	.413E+00	.600E+02	.305E+00	.562E+00	.600E+02	.414E+00
120	.229E+00		.169E+00	.313E+00		.230E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 261
SEBESAR = .3849

HASIL ITERASI NOMOR 3

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.297E-01		.330E+00	.311E-01		.330E+00
3	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
4	.281E-01		.707E+00	.326E-01		.707E+00
5	.000E+00	.100E+03	.754E+00	.000E+00	.100E+03	.754E+00
6	.289E-01		.707E+00	.331E-01		.707E+00
7	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
8	.317E-01		.330E+00	.323E-01		.330E+00
9	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.272E+00		.291E+00	.292E+00		.290E+00
12	.373E+00		.420E+00	.392E+00		.406E+00
13	.304E+00		.329E+00	.308E+00		.310E+00

14	.000E+00		.000E+00	.000E+00	.000E+00
15	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02
16	.176E+00		.139E+00	.186E+00	
17	.308E+00	.950E+02	.254E+00	.322E+00	.950E+02
18	.396E+00		.320E+00	.407E+00	
19	.442E+00	.950E+02	.358E+00	.446E+00	.950E+02
20	.429E+00		.346E+00	.424E+00	
21	.357E+00	.950E+02	.290E+00	.347E+00	.950E+02
22	.213E+00		.168E+00	.204E+00	
23	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02
24	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
25	.320E+00		.240E+00	.334E+00	
26	.455E+00		.343E+00	.460E+00	
27	.368E+00		.277E+00	.358E+00	
28	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
29	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02
30	.184E+00		.138E+00	.194E+00	
31	.319E+00	.900E+02	.238E+00	.333E+00	.900E+02
32	.413E+00		.308E+00	.425E+00	
33	.457E+00	.900E+02	.340E+00	.461E+00	.900E+02
34	.452E+00		.336E+00	.447E+00	
35	.378E+00	.900E+02	.282E+00	.367E+00	.900E+02
36	.226E+00		.169E+00	.217E+00	
37	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02
38	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
39	.324E+00		.241E+00	.340E+00	
40	.462E+00		.343E+00	.469E+00	
41	.369E+00		.274E+00	.360E+00	
42	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
43	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02
44	.184E+00		.137E+00	.196E+00	
45	.323E+00	.850E+02	.241E+00	.343E+00	.850E+02
46	.429E+00		.319E+00	.450E+00	
47	.491E+00	.850E+02	.365E+00	.507E+00	.850E+02
48	.506E+00		.376E+00	.513E+00	
49	.461E+00	.850E+02	.343E+00	.460E+00	.850E+02
50	.264E+00		.196E+00	.260E+00	
51	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02
52	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
53	.358E+00		.266E+00	.375E+00	
54	.531E+00		.394E+00	.544E+00	
55	.502E+00		.373E+00	.503E+00	
56	.399E+00		.297E+00	.393E+00	
57	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02
58	.207E+00		.154E+00	.209E+00	
59	.371E+00	.800E+02	.275E+00	.374E+00	.800E+02
60	.478E+00		.355E+00	.482E+00	
61	.543E+00	.800E+02	.403E+00	.545E+00	.800E+02
62	.562E+00		.417E+00	.560E+00	
63	.529E+00	.800E+02	.392E+00	.523E+00	.800E+02
64	.323E+00		.240E+00	.318E+00	
65	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02
66	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
67	.388E+00		.287E+00	.380E+00	
68	.529E+00		.391E+00	.522E+00	
69	.426E+00		.315E+00	.425E+00	
70	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
71	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02
72	.221E+00		.163E+00	.213E+00	
73	.375E+00	.750E+02	.277E+00	.366E+00	.750E+02
74	.469E+00		.347E+00	.460E+00	
75	.495E+00	.750E+02	.366E+00	.491E+00	.750E+02
76	.469E+00		.346E+00	.470E+00	
77	.377E+00	.750E+02	.278E+00	.382E+00	.750E+02
78	.221E+00		.163E+00	.226E+00	
79	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02
80	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
81	.370E+00		.273E+00	.365E+00	
82	.477E+00		.352E+00	.486E+00	
83	.342E+00		.252E+00	.358E+00	
84	.000E+00		.000E+00	.000E+00	
85	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02
86	.267E+00		.197E+00	.288E+00	
87	.482E+00	.700E+02	.355E+00	.521E+00	.700E+02

88	.536E+00		.395E+00	.583E+00		.430E+00
89	.538E+00	.700E+02	.397E+00	.590E+00	.700E+02	.435E+00
90	.474E+00		.350E+00	.524E+00		.386E+00
91	.368E+00	.700E+02	.271E+00	.408E+00	.700E+02	.301E+00
92	.208E+00		.153E+00	.231E+00		.170E+00
93	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
94	.924E+00		.681E+00	.101E+01		.744E+00
95	.774E+00		.571E+00	.861E+00		.635E+00
96	.649E+00		.479E+00	.735E+00		.541E+00
97	.404E+00		.298E+00	.463E+00		.341E+00
98	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
99	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
100	.377E+00		.278E+00	.395E+00		.291E+00
101	.697E+00	.650E+02	.514E+00	.735E+00	.650E+02	.541E+00
102	.707E+00		.521E+00	.764E+00		.563E+00
103	.672E+00	.650E+02	.496E+00	.745E+00	.650E+02	.549E+00
104	.565E+00		.416E+00	.635E+00		.468E+00
105	.421E+00	.650E+02	.310E+00	.479E+00	.650E+02	.353E+00
106	.234E+00		.173E+00	.267E+00		.197E+00
107	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
108	.101E+01		.742E+00	.109E+01		.801E+00
109	.824E+00		.607E+00	.910E+00		.670E+00
110	.694E+00		.511E+00	.779E+00		.574E+00
111	.427E+00		.315E+00	.488E+00		.359E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
114	.432E+00		.318E+00	.429E+00		.316E+00
115	.771E+00	.600E+02	.568E+00	.783E+00	.600E+02	.577E+00
116	.761E+00		.561E+00	.801E+00		.590E+00
117	.704E+00	.600E+02	.518E+00	.767E+00	.600E+02	.565E+00
118	.586E+00		.432E+00	.651E+00		.480E+00
119	.432E+00	.600E+02	.318E+00	.488E+00	.600E+02	.359E+00
120	.239E+00		.177E+00	.271E+00		.200E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 9
SEBESAR = .1594

HASIL ITERASI NOMOR 4

NODE	BARU U-VELOCITY	BARU PRESSURE	BARU V-VELOCITY	LAMA U-VELOCITY	LAMA PRESSURE	LAMA V-VELOCITY
1	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
2	.297E-01		.330E+00	.304E-01		.330E+00
3	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
4	.281E-01		.707E+00	.303E-01		.707E+00
5	.000E+00	.100E+03	.754E+00	.000E+00	.100E+03	.754E+00
6	.288E-01		.707E+00	.310E-01		.707E+00
7	.000E+00	.100E+03	.566E+00	.000E+00	.100E+03	.566E+00
8	.316E-01		.330E+00	.320E-01		.330E+00
9	.000E+00	.100E+03	.000E+00	.000E+00	.100E+03	.000E+00
10	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
11	.272E+00		.292E+00	.282E+00		.291E+00
12	.373E+00		.421E+00	.382E+00		.413E+00
13	.304E+00		.330E+00	.306E+00		.319E+00
14	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
15	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
16	.177E+00		.140E+00	.181E+00		.143E+00
17	.309E+00	.950E+02	.255E+00	.315E+00	.950E+02	.259E+00
18	.397E+00		.321E+00	.401E+00		.324E+00
19	.443E+00	.950E+02	.359E+00	.444E+00	.950E+02	.359E+00
20	.429E+00		.347E+00	.426E+00		.344E+00
21	.358E+00	.950E+02	.291E+00	.352E+00	.950E+02	.286E+00
22	.213E+00		.169E+00	.208E+00		.165E+00
23	.000E+00	.950E+02	.000E+00	.000E+00	.950E+02	.000E+00
24	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
25	.321E+00		.241E+00	.327E+00		.245E+00
26	.456E+00		.344E+00	.457E+00		.344E+00
27	.369E+00		.277E+00	.363E+00		.273E+00
28	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
29	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
30	.185E+00		.139E+00	.189E+00		.142E+00
31	.320E+00	.900E+02	.239E+00	.326E+00	.900E+02	.243E+00

32	.414E+00		.309E+00	.419E+00		.312E+00
33	.458E+00	.900E+02	.341E+00	.459E+00	.900E+02	.342E+00
34	.453E+00		.337E+00	.449E+00		.335E+00
35	.379E+00	.900E+02	.282E+00	.373E+00	.900E+02	.278E+00
36	.227E+00		.170E+00	.222E+00		.166E+00
37	.000E+00	.900E+02	.000E+00	.000E+00	.900E+02	.000E+00
38	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
39	.325E+00		.242E+00	.332E+00		.247E+00
40	.463E+00		.344E+00	.465E+00		.346E+00
41	.370E+00		.275E+00	.364E+00		.271E+00
42	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
43	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
44	.185E+00		.137E+00	.190E+00		.141E+00
45	.325E+00	.850E+02	.242E+00	.333E+00	.850E+02	.248E+00
46	.431E+00		.320E+00	.440E+00		.327E+00
47	.492E+00	.850E+02	.366E+00	.499E+00	.850E+02	.371E+00
48	.507E+00		.377E+00	.509E+00		.379E+00
49	.462E+00	.850E+02	.344E+00	.461E+00	.850E+02	.343E+00
50	.265E+00		.197E+00	.262E+00		.195E+00
51	.000E+00	.850E+02	.000E+00	.000E+00	.850E+02	.000E+00
52	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
53	.359E+00		.267E+00	.366E+00		.272E+00
54	.532E+00		.395E+00	.537E+00		.399E+00
55	.503E+00		.374E+00	.502E+00		.373E+00
56	.400E+00		.297E+00	.396E+00		.294E+00
57	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
58	.207E+00		.154E+00	.208E+00		.154E+00
59	.371E+00	.800E+02	.275E+00	.373E+00	.800E+02	.276E+00
60	.479E+00		.355E+00	.480E+00		.356E+00
61	.544E+00	.800E+02	.403E+00	.544E+00	.800E+02	.403E+00
62	.563E+00		.418E+00	.561E+00		.416E+00
63	.529E+00	.800E+02	.393E+00	.526E+00	.800E+02	.390E+00
64	.324E+00		.240E+00	.321E+00		.238E+00
65	.000E+00	.800E+02	.000E+00	.000E+00	.800E+02	.000E+00
66	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
67	.388E+00		.287E+00	.384E+00		.284E+00
68	.529E+00		.392E+00	.525E+00		.389E+00
69	.427E+00		.316E+00	.426E+00		.315E+00
70	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
71	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
72	.221E+00		.163E+00	.217E+00		.160E+00
73	.376E+00	.750E+02	.278E+00	.370E+00	.750E+02	.274E+00
74	.470E+00		.347E+00	.465E+00		.343E+00
75	.496E+00	.750E+02	.366E+00	.493E+00	.750E+02	.364E+00
76	.469E+00		.347E+00	.469E+00		.347E+00
77	.377E+00	.750E+02	.279E+00	.379E+00	.750E+02	.280E+00
78	.221E+00		.163E+00	.223E+00		.165E+00
79	.000E+00	.750E+02	.000E+00	.000E+00	.750E+02	.000E+00
80	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
81	.371E+00		.274E+00	.368E+00		.271E+00
82	.478E+00		.353E+00	.482E+00		.356E+00
83	.343E+00		.253E+00	.350E+00		.258E+00
84	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
85	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
86	.269E+00		.198E+00	.277E+00		.204E+00
87	.485E+00	.700E+02	.358E+00	.501E+00	.700E+02	.370E+00
88	.540E+00		.398E+00	.559E+00		.413E+00
89	.542E+00	.700E+02	.400E+00	.564E+00	.700E+02	.416E+00
90	.478E+00		.353E+00	.499E+00		.368E+00
91	.371E+00	.700E+02	.274E+00	.388E+00	.700E+02	.286E+00
92	.210E+00		.155E+00	.219E+00		.162E+00
93	.000E+00	.700E+02	.000E+00	.000E+00	.700E+02	.000E+00
94	.934E+00		.688E+00	.967E+00		.712E+00
95	.784E+00		.578E+00	.818E+00		.603E+00
96	.659E+00		.485E+00	.692E+00		.510E+00
97	.411E+00		.303E+00	.434E+00		.320E+00
98	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
99	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
100	.380E+00		.280E+00	.386E+00		.284E+00
101	.703E+00	.650E+02	.518E+00	.716E+00	.650E+02	.528E+00
102	.715E+00		.527E+00	.735E+00		.542E+00
103	.681E+00	.650E+02	.502E+00	.709E+00	.650E+02	.522E+00
104	.573E+00		.423E+00	.600E+00		.442E+00
105	.428E+00	.650E+02	.315E+00	.450E+00	.650E+02	.332E+00

106	.238E+00		.176E+00	.251E+00		.185E+00
107	.000E+00	.650E+02	.000E+00	.000E+00	.650E+02	.000E+00
108	.102E+01		.751E+00	.105E+01		.772E+00
109	.835E+00		.615E+00	.867E+00		.639E+00
110	.705E+00		.519E+00	.736E+00		.543E+00
111	.435E+00		.320E+00	.457E+00		.337E+00
112	.000E+00		.000E+00	.000E+00		.000E+00
113	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00
114	.436E+00		.321E+00	.430E+00		.317E+00
115	.779E+00	.600E+02	.574E+00	.777E+00	.600E+02	.572E+00
116	.770E+00		.568E+00	.781E+00		.576E+00
117	.714E+00	.600E+02	.526E+00	.735E+00	.600E+02	.542E+00
118	.595E+00		.439E+00	.619E+00		.456E+00
119	.439E+00	.600E+02	.324E+00	.460E+00	.600E+02	.339E+00
120	.243E+00		.179E+00	.255E+00		.188E+00
121	.000E+00	.600E+02	.000E+00	.000E+00	.600E+02	.000E+00

PERUBAHAN TERBESAR PADA DOF NOMOR 9
 SEBESAR = .0786

PENYELESAIAN SUDAH MENCAPAI KONVERGENSI !



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

PROGRAM STUDI TEKNIK LAUTAN

TUGAS - AKHIR.

No. : 127/PT12.H8.FTK.4/Q/95

MATA KULIAH	:	TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH	:	.0E..17Q1.....
NAMA MAHASISWA	:	Hermas Kornelius.....
NOMOR POKOK	:	.491.430Q.222.....
TANGGAL DIBERIKAN TUGAS	:	.13..Juli..1995.....
TANGGAL SELESAI TUGAS	:	.13..Desember 1995.....
DOSEN PEMBIMBING	:	DR..Ir..W.A..Pratikto,MSc.....
	:	Drs..M..Mustain,MSc.....

TEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN :

JUDUL : " PEMODELAN ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA
DENGAN METODA ELEMEN HINGGA "

SURABAYA, .13..Juli..1995.....

DIBUAT RANGKAP 4 :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dekan
3. Pembimbing



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS
TEKNIK LAUTAN

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya

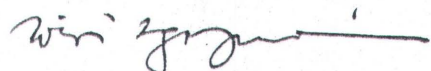
DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama : Hermas Kornelius
NRP : 4914300222
Judul T.A. : Pemodelan Aliran Fluida dalam Pipa
dengan Metode Elemen Hingga.

Asistensi Ke	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
1	02-09-95	Bab 1, pendahuluan	
2	17-09-95	Bab 2, dasar aliran fluida	
3	08-10-95	Bab 2, metode elemen hingga	
4	30-12-95	Bab 3, formulasi elemen	
5	15-01-96	Bab 3, diskritisasi domain	
6	27-01-96	Bab 3, penyelesaian persamaan	
7	06-03-96	Bab 4, analisa & pembahasan	
8	12-03-96	Bab 5, penutup & lampiran	
9			
10			

Rekomendasi	Paraf	Tanggal
Dibatalkan		
Perpanjangan		
Selesai/Siap diuji		

Surabaya, 12 Maret 1996
Dosen Pembimbing



Ir. W. A. Pratikto, MSc, PhD
NIP. 130 816 210

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya

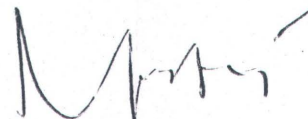
DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama : Hermas Kornelius
NRP : 4914300222
Judul T.A. : Pemodelan Aliran Fluida dalam Pipa
dengan Metode Elemen Hingga.

Asistensi Ke	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
1	02-09-95	Bab 1, pendahuluan	
2	17-09-95	Bab 2, dasar aliran fluida	
3	08-10-95	Bab 2, metode elemen hingga	
4	30-12-95	Bab 3, formulasi elemen	
5	15-01-96	Bab 3, diskritisasi domain	
6	27-01-96	Bab 3, penyelesaian persamaan	
7	06-03-96	Bab 4, analisa & pembahasan	
8	12-03-96	Bab 5, penutup & lampiran	
9			
10			

Rekomendasi	Paraf	Tanggal
Dibatalkan		
Perpanjangan		
Selesai/Siap diuji		

Surabaya, 12 Maret 1996
Dosen Pembimbing


Drs. M. Mustain, MSc
NIP. 131 869 967